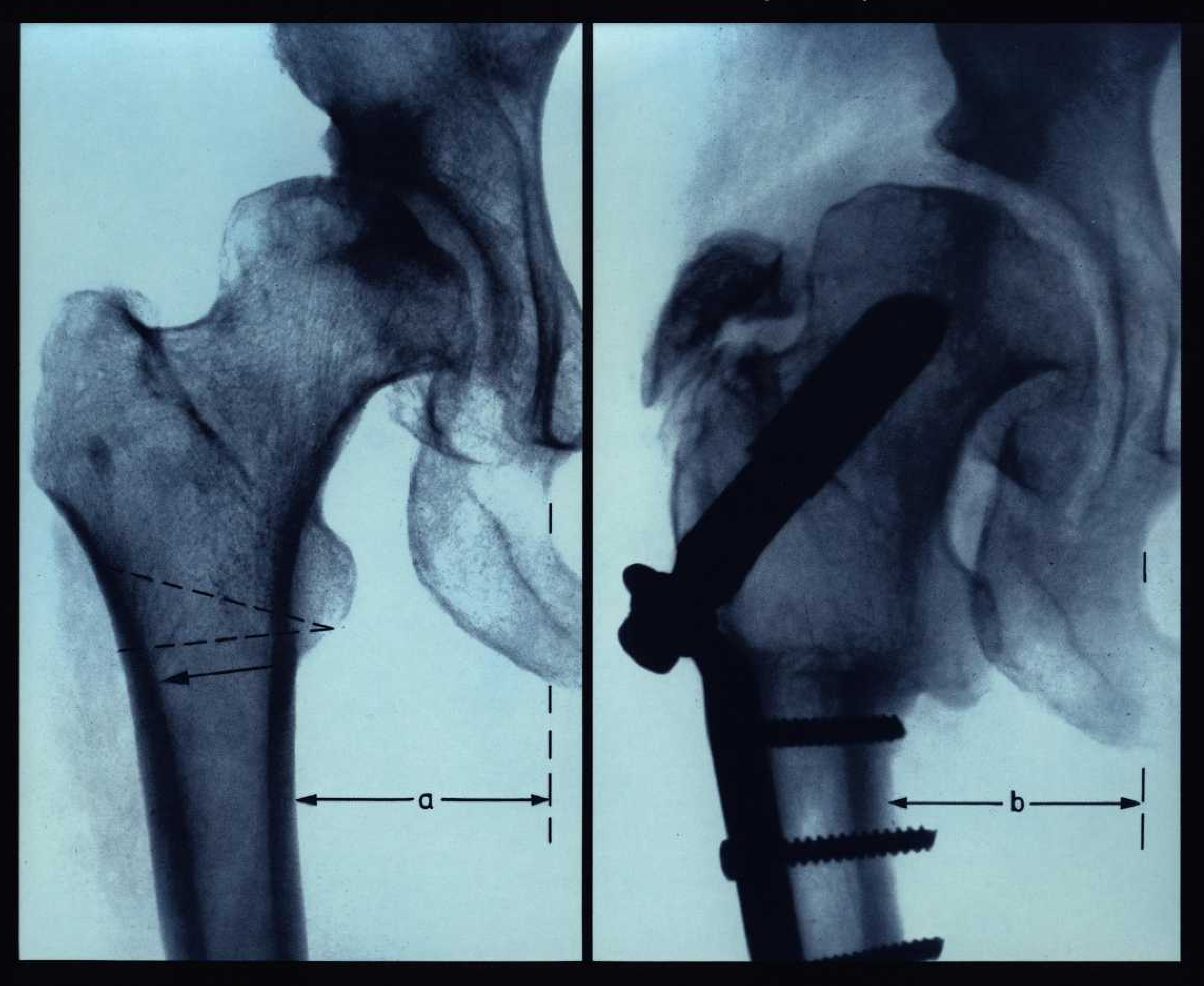
F. Pauwels

Biomécanique de la Hanche saine et pathologique

Un atlas

Principes, technique et résultats d'une thérapeutique causale



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

F. Pauwels

Biomécanique de la Hanche saine et pathologique

Friedrich Pauwels

Biomécanique de la Hanche saine et pathologique

Principes, technique et résultats d'une thérapeutique causale

Un atlas

Traduit par Paul G. J. Maquet

Avec 305 figures groupant 853 images

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1977

Professeur *Friedrich Pauwels*

Dr. med. Dr. med. h.c. Dr.-Ing. E.h.
Chirurgien orthopédiste
Zweiweiherweg 3, D-5100 Aachen

Traducteur:

Docteur *Paul G. J. Maquet*

Chirurgien orthopédiste
25 Thier Bosset, B-4070 Aywaille

Traduction de l'édition allemande, 1973:

Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte
Prinzipien, Technik und Resultate einer kausalen Therapie

ISBN 3-540-06048-0 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-06048-0 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

Traduction de l'édition allemande en anglais, 1976:

Biomechanics of the Normal and Diseased Hip
Theoretical Foundation, Technique and Results of Treatment

ISBN 3-540-07428-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-07428-7 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

---

ISBN 3-540-08370-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-08370-7 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

Library of Congress Cataloging in Publication Data. Pauwels, Friedrich. Biomécanique de la Hanche saine et pathologique. Translation of Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte. Bibliography: p. Includes index. 1. Hip joint — Surgery. 2. Hip joint—Diseases. 3. Human mechanics. I. Title. RD549.P3314 617'.58 77-21563

Composition, impression et reliure: Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg
2124/3130-543210

A ma femme Sibylle en reconnaissance
pour 40 ans de compréhensive collaboration

Préface

La chirurgie orthopédique se trouve dans une phase de développement impétueux. Auparavant, le but principal du traitement consistait à restituer chirurgicalement une forme anatomique normale et ainsi à rétablir la fonction. Ces derniers temps, différents types d'arthroplastie deviennent de plus en plus à la mode pour le traitement des affections articulaires. Ceci est dû, entre autres, au fait que la restitution d'une forme anatomique n'entraîne une amélioration de la fonction et la disparition de la douleur que dans certains cas favorables. Au contraire, l'implantation d'une articulation artificielle est présentée un peu partout comme la méthode de choix parce que les résultats immédiats sont le plus souvent spectaculaires pour les patients et la technique opératoire s'apprend de façon relativement facile. Cependant des voix de plus en plus nombreuses s'élèvent pour attirer l'attention sur les échecs à plus ou moins longue échéance. Ces échecs proviennent tout d'abord de réactions indésirables et imprévues entre le matériau étranger et les tissus de l'appareil de soutien. La résorption osseuse due à une sollicitation locale exagérée y joue un rôle essentiel.

Il existe une alternative prometteuse au traitement par endoprothèses, grevé d'un certain nombre de problèmes. Elle consiste à utiliser dans un but précis la capacité naturelle d'adaptation fonctionnelle que possèdent les tissus du squelette. Le principe de cette méthode de traitement repose sur une modification systématique et exactement dosée de la sollicitation mécanique, pour rétablir l'équilibre biomécanique qui existe normalement entre grandeur et type de sollicitation mécanique d'une part, et capacité de réaction des tissus de soutien d'autre part. Ceci ouvre une toute nouvelle perspective à la thérapeutique. Là où il est impossible d'attaquer immédiatement la cause de l'affection, c-à-d. l'insuffisance des tissus, il n'existe que l'alternative d'adapter la sollicitation mécanique à cette insuffisance. Pour obtenir la guérison, il faut alors ramener la sollicitation mécanique en dessous de la normale ou modifier sa qualité. Dans ce but, une préparation soigneuse de l'opération et une technique opératoire particulière sont indispensables.

Lorsque l'indication est correcte, cette méthode de traitement permet d'obtenir des résultats durables dans trois affections importantes de la hanche, la coxa vara congénitale, la pseudarthrose du col du fémur et la coxarthrose, ceci même dans des cas considérés jusqu'à présent comme incurables.

Le présent atlas ne montrera pas seulement des résultats démonstratifs du traitement mais surtout il donnera au clinicien intéressé des directives et des indications précises pour la réalisation pratique des opérations.

Je dois particulièrement remercier le professeur *B. Kummer*. Celui-ci, agissant comme avocat du diable, a soumis à un examen critique approfondi les notions nouvelles exposées dans cet atlas, dans le domaine de l'anatomie fonctionnelle et de la biomécanique.

Je tiens à exprimer ma plus vive reconnaissance au docteur *P. Maquet* pour la traduction française de l'ouvrage.

Je remercie Springer-Verlag et ses collaborateurs, spécialement le docteur *Götze* et le professeur *Geinitz*, non seulement pour le soin et la diligence apportés à l'élaboration de ce livre mais aussi pour leur compréhension et leur inlassable patience pendant sa préparation.

Aix-la-Chapelle, Juillet 1977 *Friedrich Pauwels*

Table des matières

I. Fondements théoriques

II. Analyse biomécanique et thérapeutique causale de la coxa vara congénitale, de la pseudarthrose du col fémoral et de la coxarthrose

A. Coxa vara congénitale

B. Pseudarthrose du col fémoral

C. Coxarthrose

I. Fondements théoriques

Pour appliquer une technique attaquant la cause mécanique des maladies et déformations de l'extrémité supérieure du fémur, il faut connaître:

1. la sollicitation physiologique de celle-ci et, en particulier, l'influence qu'exerce sur la charge et la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur un angle cervico-diaphysaire s'écartant de la normale.
2. la manière dont un tissu vivant réagit à la grandeur et à la qualité de la sollicitation mécanique.

Les raisonnements qui suivent se basent sur des notions anatomiques récentes et sur quelques éléments essentiels de la statique et de la théorie de l'élasticité. En général, ces notions sont peu familières au médecin qui, jusqu'a présent, n'en a pas entendu parler durant ses études. Il faut donc s'y arrêter quelque peu et en donner un aperçu aussi clair que possible.

1. Charge et sollicitation

Il existe une différence fondamentale entre la notion de *charge* et celle de *sollicitation*. On ne peut assez le souligner car l'utilisation de ces mots comme synonymes dans la littérature médicale a entraîné bien des malentendus et des conclusions erronées.

La charge désigne les forces *extérieures* qui s'exercent sur un corps.

Le terme *sollicitation* doit être réservé au concept général désignant *l'action* des forces extérieures dans le matériau du corps chargé, c-à-d. les déformations et les contraintes provoquées dans le matériau par la charge. Ce sont elles, et elles seules, qui déterminent les effets de cette dernière.

Un exemple théorique illustrera la différence entre charge et sollicitation (fig. 1, 2).

Les 3 colonnes fig. 1a–c ont la même capacité de résistance. Elles supportent le même poids.

Si ce poids se trouve au dessus du milieu de la colonne, la résistance de celle-ci est suffisante (a). Si le poids est légèrement déplacé latéralement, la colonne fléchit sous l'effet de sa charge (b). Un déplacement un peu plus important du poids entraîne le bris de la colonne (c).

Par contre, la colonne peut supporter sans dommage une charge deux fois plus lourde que la première si un deuxième poids, égal au premier, est ajouté à la même distance de l'axe de la colonne mais du côté opposé. Il joue le rôle d'un contrepoids (fig. 1d).

Comme le démontrent ces effets différents de la charge, ce n'est pas la grandeur de celle-ci qui est décisive mais bien *la sollicitation* que la charge provoque. La grandeur de la sollicitation dans les colonnes identiques est indiquée par les diagrammes de la fig. 2a–d.

D y désigne les contraintes de compression, *Z* les contraintes de traction. La coupe de la colonne est choisie telle qu'une charge de 20 kg bien centrée entraîne dans la colonne des contraintes de compression pure de 10 kg/cm² (fig. 2a).

La grandeur de la sollicitation et le danger de rupture sont déterminés par la grandeur des contraintes maximales produites dans la coupe de la colonne.

Un exemple théorique facilitera ici aussi la compréhension (fig. 3).

Le ruban de caoutchouc (fig. 3a) est sollicité axiale-

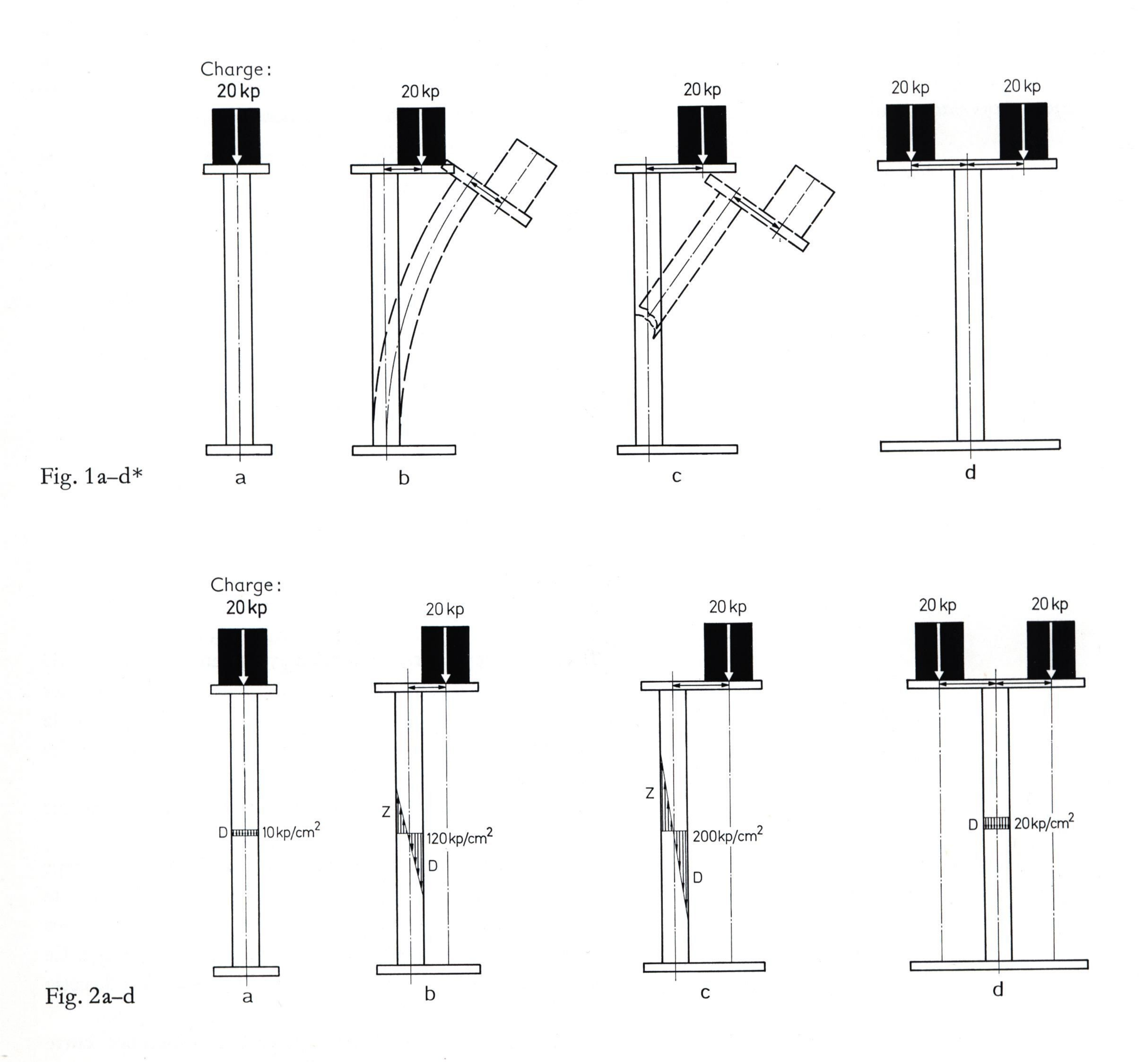


Fig. 1a–d*

Fig. 2a–d

* Ici et dans la suite de l'ouvrage, «kp» signifie kilogramme-force.

ment en traction par le poids, suspendu au milieu de son extrémité libre, et étiré uniformément. Partout dans la coupe les contraintes de traction σ_Z ont la même grandeur.

Si le poids agit excentriquement (fig. 3b), le bord du ruban de caoutchouc le plus proche de l'insertion du poids est plus fortement étiré. Les contraintes de traction y sont plus élevées.

Si le poids est encore plus rapproché de ce bord (fig. 3c), le ruban est étiré davantage encore. Par contre, il se fronce quelque peu au bord opposé.

On comprend aisément que c'est au bord le plus étiré, celui où les contraintes sont les plus élevées, qu'apparaîtra la déchirure. Elle se complète immédiatement. En effet l'amorce de déchirure élève la contrainte au bord qui s'accroît de plus en plus vite par effet d'entaille lorsque la déchirure se propage.

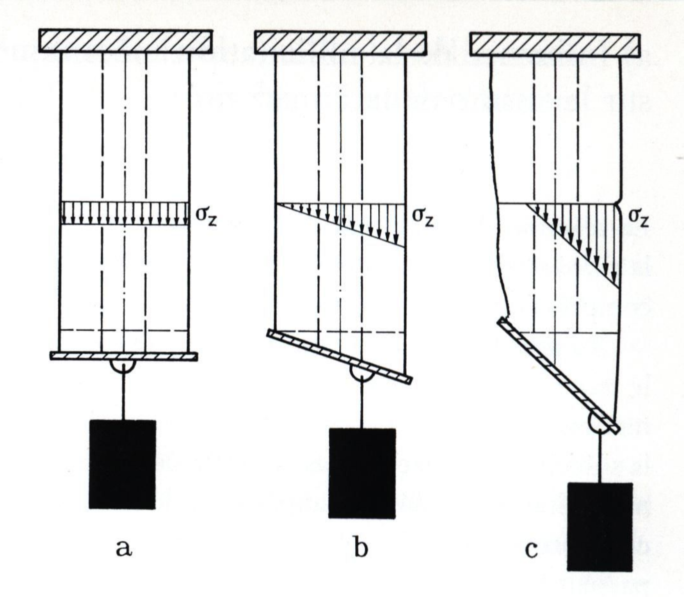


Fig. 3a–c

2. Effet de la sollicitation mécanique sur les tissus du squelette

En ce qui concerne l'effet de la sollicitation mécanique sur les tissus organiques, il faut nettement distinguer:

1. la conséquence immédiate de cette sollicitation, la déformation passive. L'inflexion de l'os affaibli par la rachitisme en est un exemple caractéristique;

2. la réaction du tissu vivant à la sollicitation mécanique. Cette réaction est fondamentalement différente dans le tissu osseux arrivé à maturité et dans le tissu indifférencié à potentialités multiples.

a) Influence de la sollicitation mécanique sur le tissu osseux à maturité

La réaction du tissu osseux à maturité est déterminée par la *grandeur de la sollicitation*, qu'il s'agisse de sollicitation en compression, en traction ou en cisaillement.

La grandeur physiologique de la sollicitation constitue le moteur de la transformation continuelle de l'os, où formation et résorption s'équilibrent. Aussi longtemps que la sollicitation n'excède pas la limite de tolérance, son augmentation provoque une apposition de tissu osseux. Celle-ci est proportionnelle à la grandeur des contraintes qui dépassent la normale.

On en trouve un exemple et une preuve dans la forme de la condensation osseuse du toit du cotyle apparaissant sur la radiographie de la hanche et désignée sous le nom de sourcil cotyloïdien.

Dans la hanche de forme et de sollicitation normales, la pression articulaire est régulièrement distribuée sur la surface portante. Le sourcil présente partout la même épaisseur (fig. 4a). Il revêt la même forme que le diagramme des contraintes de compression dans le schéma de la fig. 4b.

Dans la subluxation, primaire ou secondaire, de la tête fémorale, la pression articulaire est concentrée en une petite zone au bord du cotyle, où souvent elle atteint plusieurs fois la valeur normale. Le sourcil prend alors la forme d'un triangle ou d'un coin dont l'épaisseur augmente au rebord cotyloïdien (fig. 5a). Ici aussi il revêt la forme du diagramme des contraintes (fig. 5b). Les radiographies (fig. 6a et b) montrent des images analogues du sourcil au niveau de hanches d'enfants, normale en a, subluxée en b.

La concordance entre la forme du sourcil cotyloïdien et celle du diagramme des contraintes de compression présente une grande signification pratique. Elle indique immédiatement la distribution quantitative de la pression articulaire.

Si la grandeur des contraintes dépasse un seuil critique, la résorption de tissu osseux l'emporte sur l'ossification dans le processus de transformation continuelle. Lorsque le tissu osseux est déficient, comme par exemple dans la coxarthrose, un dépassement de la limite de tolérance entraîne les transformations anarchiques bien connues, avec altérations productives et dégénératives. Celles-ci seront discutées en détail ultérieurement.

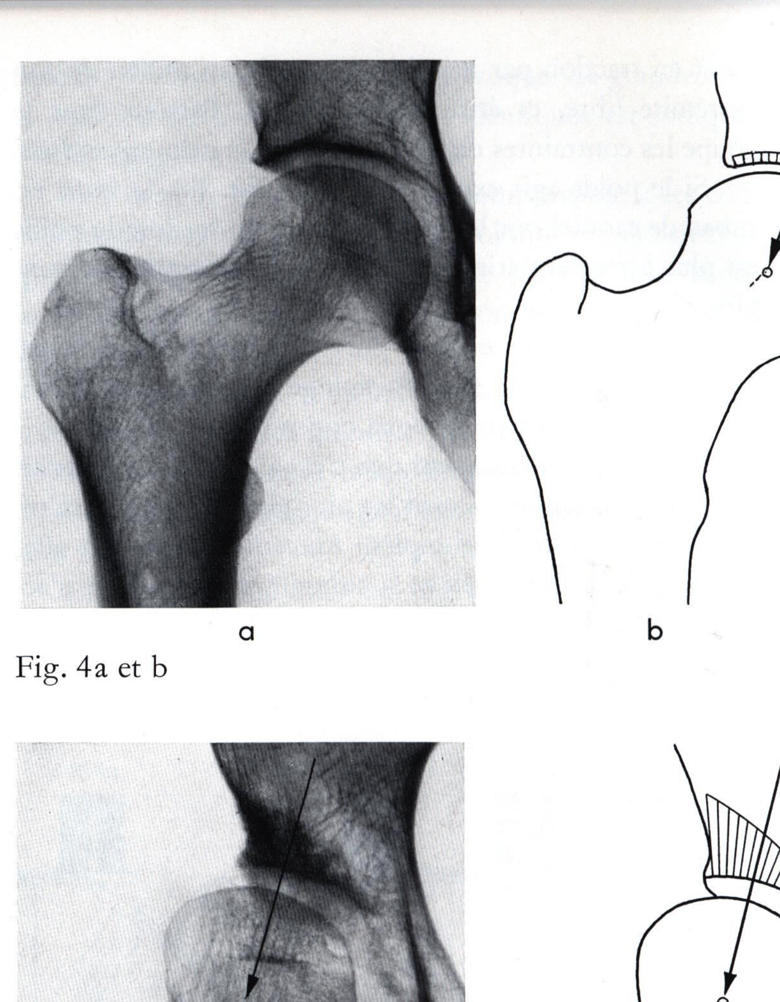


Fig. 4a et b

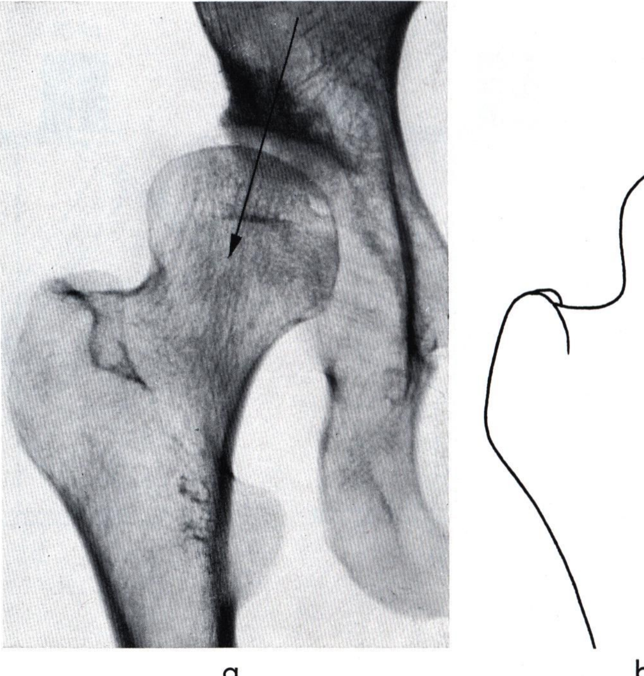


Fig. 5a et b

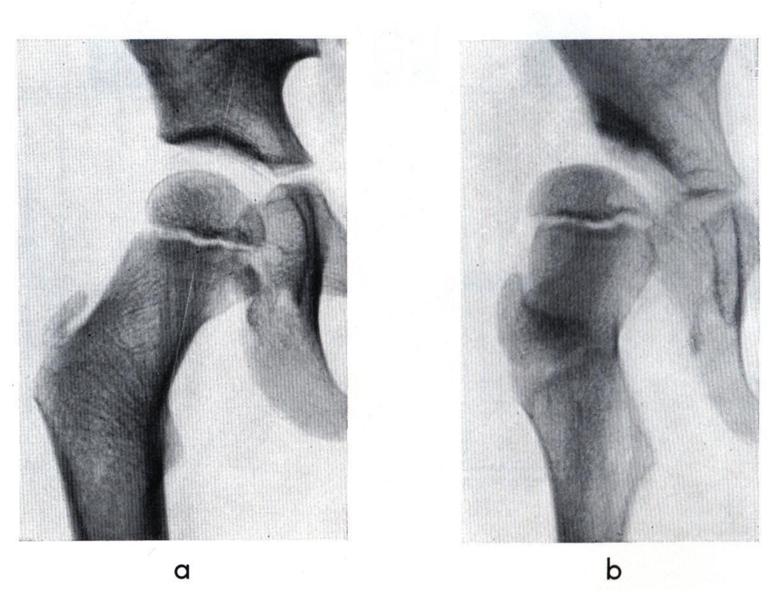
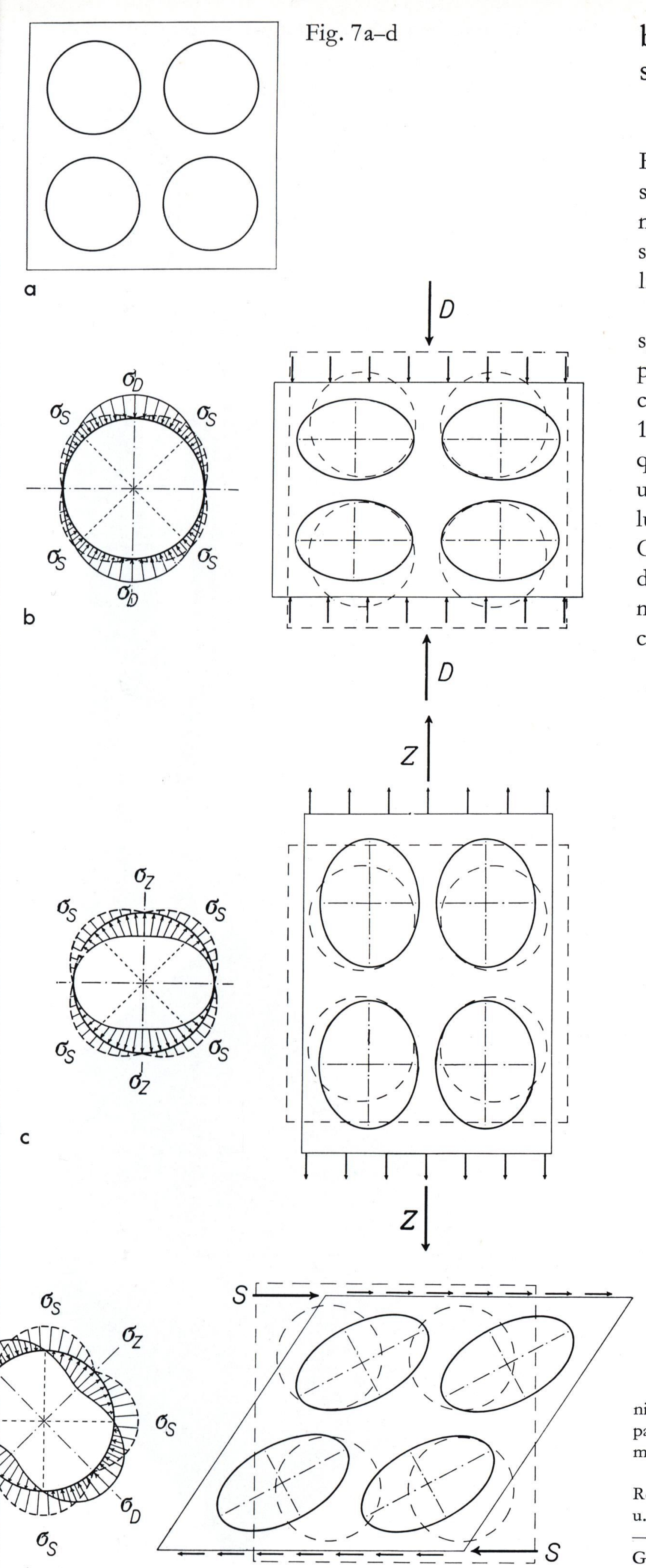


Fig. 6a et b



b) Influence de la qualité de la sollicitation sur la différenciation des tissus de soutien

En ce qui concerne l'influence de la sollicitation mécanique sur la différenciation du tissu de formation à potentialités multiples de l'appareil de soutien, les théories de *Roux* se sont avérées erronées, bien qu'elles encombrent encore les livres classiques.

D'après *Roux* (1895)[1], la compression serait l'excitant spécifique pour la formation de tissu osseux, la traction pour celle de tissu fibreux et le cisaillement pour celle de cartilage. Mais il a été définitivement démontré (*Pauwels*, 1940)[2] qu'il ne peut y avoir que deux — et non pas trois — qualités d'excitants mécaniques susceptibles d'exercer une influence spécifique sur la différenciation des cellules-souches à potentialités multiples du tissu de soutien. Ces deux excitants, absolument différents, se déduisent des deux composantes de la déformation des particules élémentaires d'un corps, le changement de forme pur et le changement de volume pur (fig. 7 et 8):

1. *L'étirement*, excitant spécifique de la formation de fibrilles collagènes, c-à-d. de *tissu conjonctif*, que cet étirement provienne de la compression (fig. 7b), de la traction (fig. 7c) ou du cisaillement (fig. 7d).
   Soit un corps élastique dont les particules élémentaires sont sphériques en l'absence de toute charge (fig. 7a). Sollicitées en compression (*D*), ces particules élémentaires se déforment et deviennent ellipsoïdes. Leur diamètre diminue dans le sens de la compression. Il augmente dans le sens perpendiculaire à la compression (fig. 7b). En traction (*Z*), l'étirement se produit dans le sens de celle-ci. Perpendiculairement à la traction, le diamètre des particules est raccourci (fig. 7c). Pour une sollicitation en cisaillement (*S*), la direction du plus grand étirement forme un angle de 45° avec celle du cisaillement (fig. 7d). A gauche des fig. 7b–d est représentée pour chaque cas la distribution des contraintes dans toutes les directions du plan du dessin. σ_D y indique les contraintes de compression, σ_Z celles de traction et σ_S celles de cisaillement.

1 *Roux, W.:* Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen, Bd. I et II. I. Vorwiegend über funktionelle Anpassung. II. Über Entwicklungsmechanik des Embryo. Leipzig: Engelmann 1895.

2 *Pauwels, F.:* Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung der Stützgewebe. 10. Beitr. z. funkt. Anat. u. kausal. Morphol. d. Stützapp. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **121**, 478 (1960). — Grundriß einer Biomechanik der Frakturheilung. Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 34. Kongr. Berlin (1940).

2. *La pression hydrostatique*. Egale de partout, elle entraîne dans la cellule d'énormes contraintes qui en modifient le métabolisme et provoquent ainsi sa différenciation en cellule cartilagineuse (fig. 8). Peu importe que la pression hydrostatique provienne de forces extérieures (*D* dans la fig. 8a) ou du développement de la cellule (gonflement) dans une enveloppe inextensible préexistante (fig. 8b).

Par contre, il n'y a pas d'excitant mécanique spécifique pour la formation de tissu osseux. Cependant le tissu osseux ne peut se développer à partir de cellules ostéogéniques qu'aux endroites où celles-ci sont à l'abri de tout tiraillement intermittent, soit dans un canevas préexistant, absolument au repos, constitué de fibrilles ou de colonnes calcifiées de substance cartilagineuse fondamentale, soit dans des travées osseuses télescopées les unes dans les autres par une fracture engrenée. Il faut souligner la signification pratique du fait suivant: sous l'action d'une force de même grandeur, l'étirement dû au cisaillement est quelque 30% plus grand que l'étirement dû à la traction. Ainsi s'explique que la guérison osseuse d'une fracture est compromise par une inclinaison prononcée des surfaces fracturaires par rapport à la force agissante (fig. 9a et b) (*Pauwels*, 1935)[3].

La fig. 9a montre une fracture oblique du tibia, en pseudarthrose. La charge exercée sur le fragment proximal (supérieur) provoque une compression longitudinale (flèche verticale). Celle-ci peut être décomposée en une composante de compression *D* et une composante de cisaillement *S*. La force de compression *D* comprime les fragments l'un contre l'autre dans une direction perpendiculaire au foyer de fracture. Par contre, la force *S* tend à les faire glisser l'un sur l'autre parallèlement au trait de fracture. Dans la direction de ce glissement se développent donc des fibres collagènes, facilement reconnaissables sur la microphotographie de la fig. 9b.

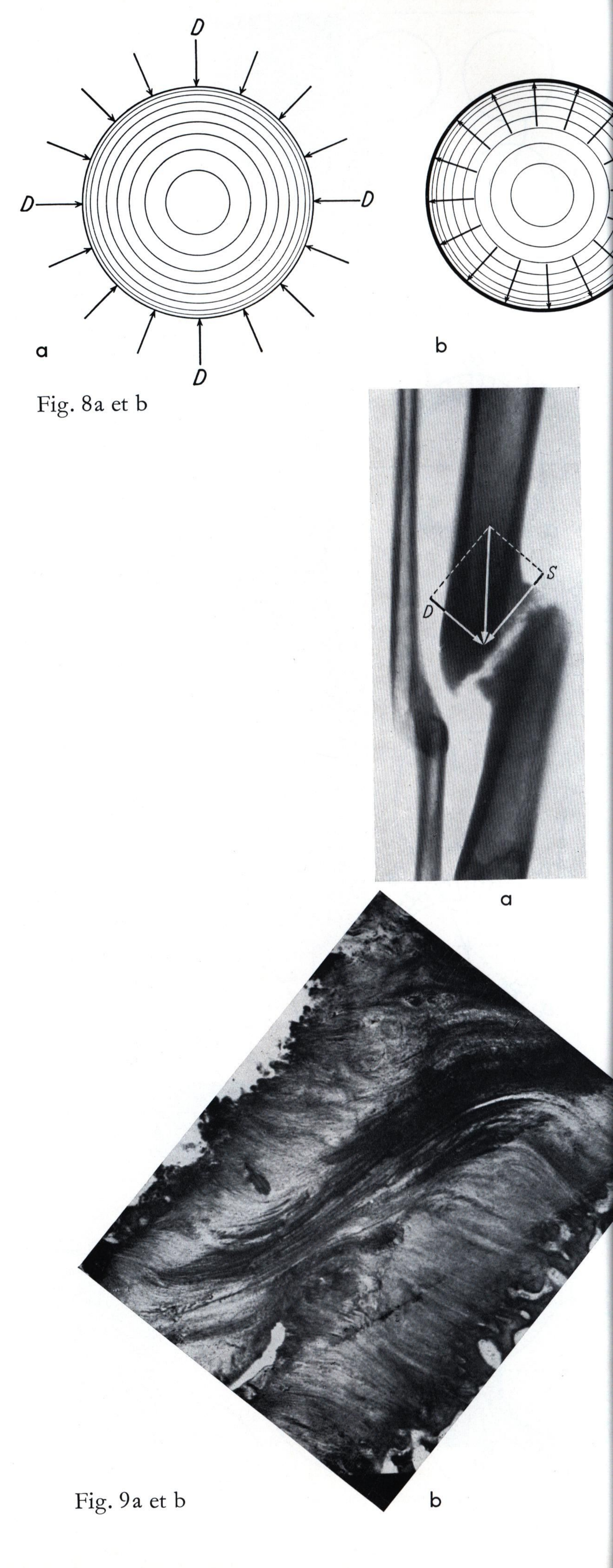


Fig. 8a et b

Fig. 9a et b

3 *Pauwels, F.:* Der Schenkelhalsbruch, ein mechanisches Problem. Beilageheft Z. orthop. Chir. **63** (1935).

A l'endroit où étirement et pression hydrostatique sont combinés, selon la prédominance de l'une ou de l'autre sollicitation, différentes formes de transition doivent apparaître entre le cartilage hyalin typique et le tissu conjonctif tendineux. *B. Kummer* (1963)[4] l'indique très bien dans le schéma de la fig. 10 directement inspiré par l'auteur.

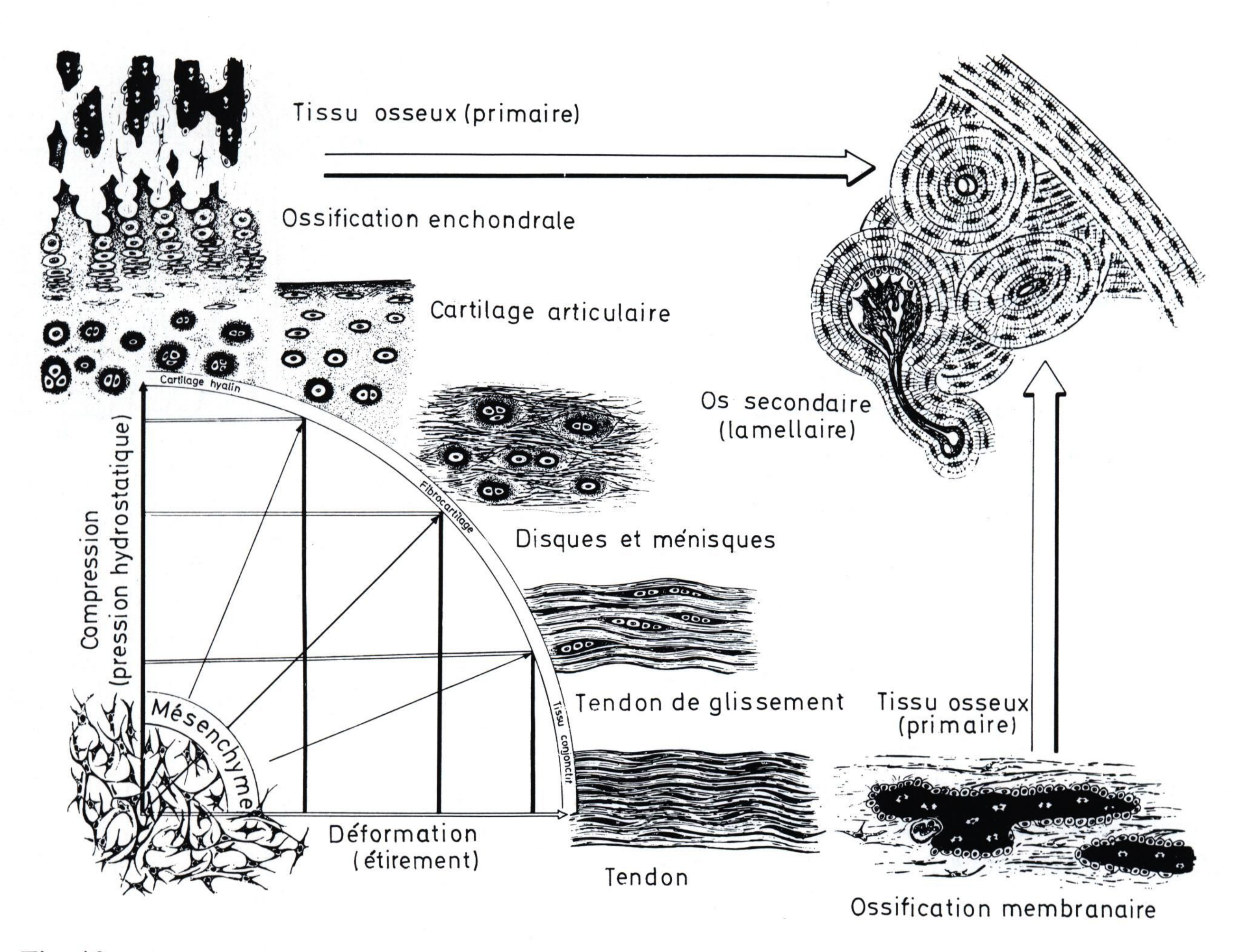


Fig. 10

4 *Kummer, B.*: Grundlagen der Biomechanik des menschlichen Stütz- und Bewegungsapparates. IX. Congr. Internat. Chir. orthop. et de Traumatol. II, Vienna 1963, p. 65–88. Wien: Verlag der Wiener Med. Akademie 1965.

3. La charge physiologique de l'extrémité supérieure du fémur

La charge physiologique de l'extrémité fémorale supérieure est constituée par la résultante *R* des forces qui, durant la marche, s'exercent sur la tête du fémur en charge (fig. 11 et 12). La fig. 11 représente l'esquisse d'un homme dans laquelle apparaissent le squelette et les centres de gravité des différentes parties du corps, pour la phase 16 de la marche dans l'étude de *O. Fischer* (1900)[5]. La situation du centre de gravité S_5 du corps sans le membre inférieur en charge, préalablement calculée, y a été aussi reportée. En dedans de la hanche agit le poids du corps moins celui du membre en charge (*K*). Sa ligne d'action passe par S_5. Le poids du corps est équilibré par la force des abducteurs *M* qui s'exerce en dehors de la hanche (fig. 12).

La direction de la force de compression résultante *R* est donnée par une droite reliant le centre de la tête fémorale et le point d'intersection des lignes d'action de la force musculaire *M* et du poids partiel du corps *K*. Elle va de haut en bas et de dedans en dehors et forme avec la verticale un angle d'environ 16° (voir fig. 14).

La grandeur de la force de compression résultante *R*, c-à-d. la grandeur de la charge exercée sur l'extrémité supérieure du fémur, correspond à la somme vectorielle des deux forces *M* et *K*. Elle dépend surtout de la grandeur de la force musculaire *M*. Celle-ci est déterminée par la relation entre son bras de levier et celui du poids partiel du corps *K* par rapport à la tête fémorale.

Le bras de levier (segment *OC*) du poids du corps *K* vaut environ 3 fois celui (segment *OB*) de la force musculaire *M*. Par conséquent, pour maintenir l'équilibre de la hanche, la force musculaire doit valoir à peu près 3 fois le poids partiel du corps *K*. Le schéma de la balance, fig. 13 (*Pauwels*, 1963)[6], l'indique. La charge supportée par l'extrémité supérieure du fémur, c-à-d. la force de compression résultante *R* exercée sur la tête fémorale en charge, vaut donc la somme vectorielle des deux forces inclinées l'une par rapport à l'autre, soit un peu moins de 4 fois le poids partiel du corps *K*.

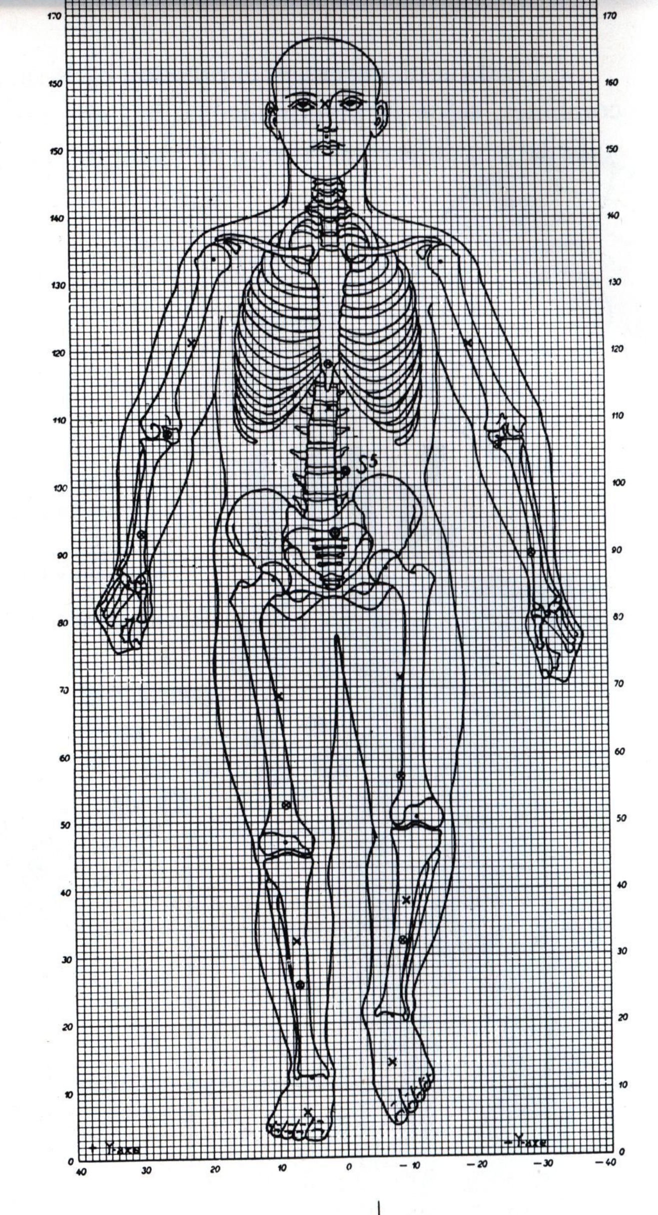


Fig. 11

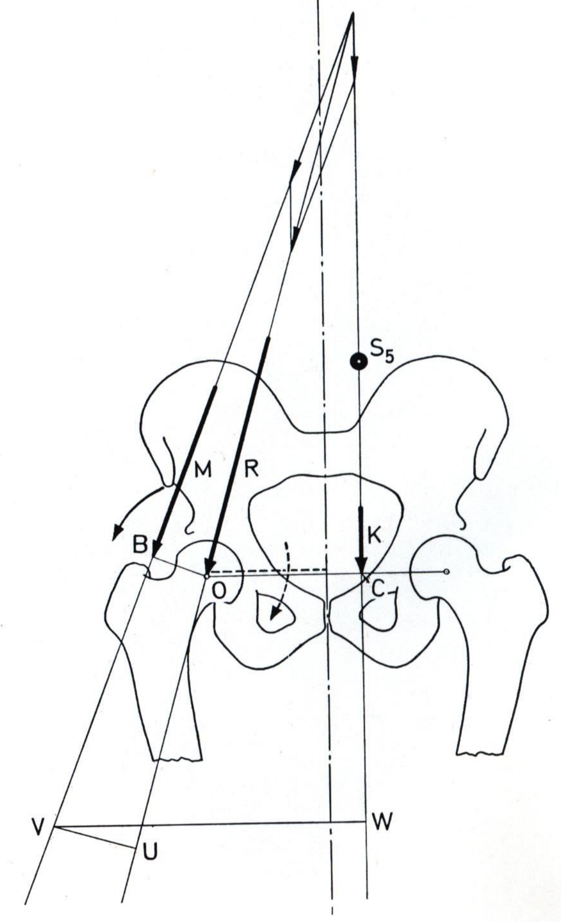


Fig. 12

5 *Fischer, O.:* Der Gang des Menschen, II. Teil: Die Bewegung des Gesamtschwerpunktes und die äusseren Kräfte. Abh. Kgl. sächs. Ges. Wiss. math.-phys. Kl., Bd. 25, p. 1–163. Leipzig 1899.

6 *Pauwels, F.:* Die Bedeutung der Biomechanik für die Orthopädie. IX. Congr. Internat. Chir. orthop. et de Traumatol. II, Vienne 1963, p. 1–32. Wien: Verlag der Wiener Med. Akademie 1965.

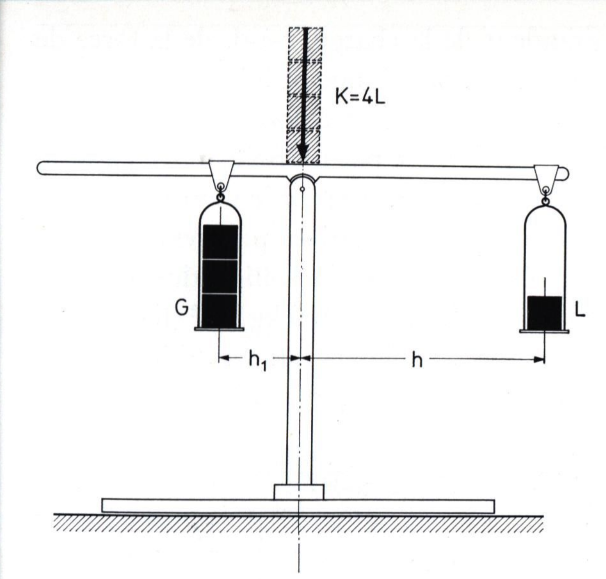


Fig. 13

Si l'on se base sur les dimensions et le poids du sujet choisi par *Otto Fischer* (1900)[7] pour son étude classique de la marche de l'homme (Poids total: 58,7 kg; poids de la partie du corps *K* supportée par la hanche du membre en charge: 47,76 kg; on suppose un angle cervico-diaphysaire de 127°), la tête du fémur en charge supporte une force statique de compression qui vaut 175 kg. A peu près au milieu de la période d'appui monopodal, cette charge est portée à 200 kg par d'addition de la composante verticale des forces fictives d'inertie. Cette valeur servira de base aux raisonnements ultérieurs pour permettre des comparaisons quantitatives (fig. 14).

La force résultante *R* s'exerce sur la tête fémorale et l'articulation de la hanche intégralement comme une force de compression puisqu'elle traverse le centre de rotation de la tête et est perpendiculaire à la surface de celle-ci.

Par contre, la résultante *R* tend à infléchir le col fémoral puisque sa direction ne correspond pas à l'axe cervical. En conséquence, la force *R* agit sur le col fémoral au bout d'un bras de levier. Son action fléchissante, c-à-d. la grandeur de son moment fléchissant, augmente de la tête vers la base du col puisque son bras de levier *h* s'allonge de haut en bas.

En outre, la résultante *R* agit sur le col fémoral avec une composante (*S*) de cisaillement. Celle-ci garde partout la même grandeur (93 kg) puisque sa grandeur dépend de l'inclinaison de la force résultante sur l'axe du col.

La force de compression résultante *R*, ou plutôt la réaction R_1 à cette force, tend à modifier la position de la tête fémorale dans le cotyle. Sa composante longitudinale *L* valant 197 kg tend à déplacer la tête verticalement vers le haut. Sa composante transversale *Q* de 60 kg la pousse horizontalement contre le fond du cotyle (fig. 14).

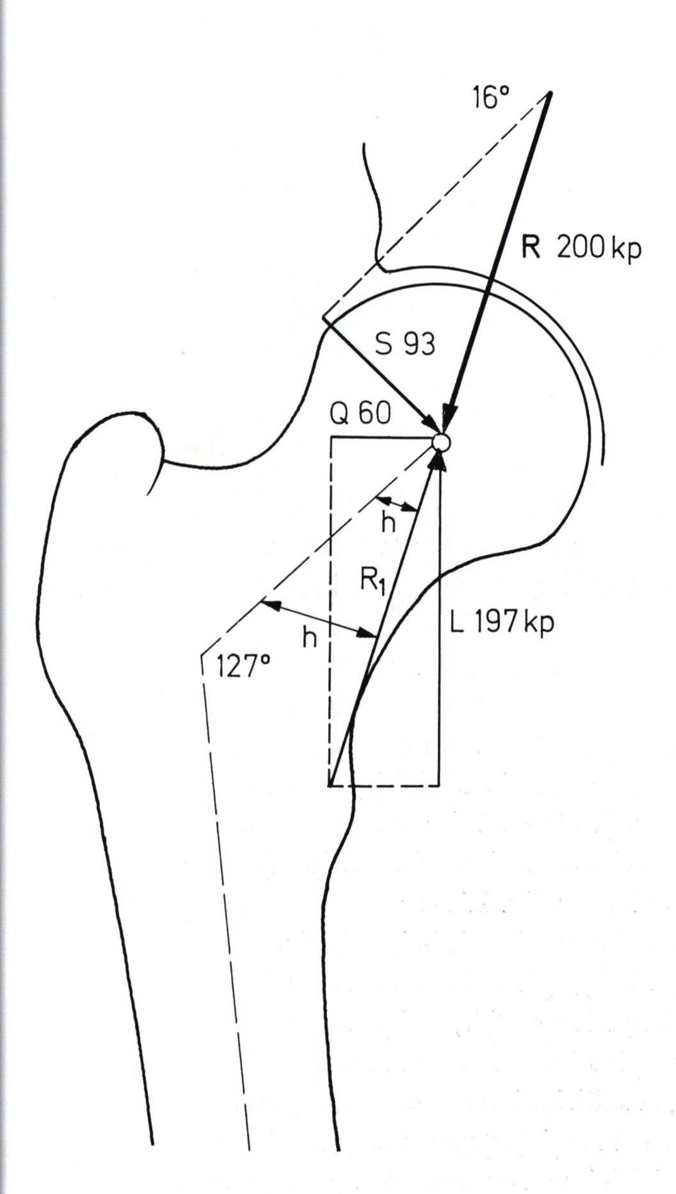


Fig. 14

7 Voir note 5 en bas de page 8.

4. Aperçu des différents types de sollicitation en jeu

Pour comprendre plus facilement la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur, envisageons d'abord, à l'aide d'exemples théoriques, les particularités des différents types de sollicitation dont il sera question — compression, flexion et cisaillement — et spécialement leur influence sur la qualité et la grandeur de la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur.

La sollicitation en compression axiale apparaît lorsque la direction de la force de compression correspond à l'axe de la colonne (fig. 15a). Les contraintes de compression ($D = 10$ kg/cm²) sont réparties également sur la coupe de celle-ci. Elles y ont partout la même grandeur, comme le montre le diagramme des contraintes, où elles figurent en rouge.

En sollicitation en compression axiale, la grandeur de la sollicitation — des contraintes de compression (D) — dépend de la grandeur de la charge, c-à-d. de la force de compression exercée sur la colonne et lui est proportionnelle (fig. 16). Dans la première colonne (fig. 16a), une charge de 100 kg, représentée par un poids noir, entraîne une sollicitation de 10 kg/cm². Comme le montrent les colonnes suivantes, une augmentation progressive de la charge de 100 à 1000 kg accroît la sollicitation dans les mêmes proportions, c-à-d. de 10 à 100 kg/cm² (fig. 16b–e).

Le deuxième mode de sollicitation à envisager est la sollicitation en flexion provoquée par une charge excentrique.

A cause de la situation excentrique de la charge, la colonne de la fig. 15b n'est pas seulement sollicitée en compression mais aussi en flexion car la charge agit sur elle au bout du bras de levier h. Par conséquent, deux types de sollicitation apparaissent:

1. des contraintes de compression axiale et
2. des contraintes de compression et de traction provoquées par la tendance à la flexion.

Leurs diagrammes respectifs sont reportés séparément en dessous de la colonne. Le diagramme supérieur indique les contraintes de compression axiale D–D (rouge). Quelle que soit la situation excentrique de la charge, elles ont partout la même grandeur car la charge exerce toujours une même compression axiale sur la colonne. Le diagramme inférieur représente la sollicitation en flexion surajoutée D (rouge) et Z (vert). Celle-ci se caractérise par l'apparition de contraintes de compression et de contraintes de traction qui, maximales à la périphérie, diminuent jusqu'à devenir nulles au centre de la coupe où se trouve la fibre neutre. Contraintes de compression axiale et contraintes de flexion sont des contraintes de direction longitudinale. Elles s'additionnent donc et donnent la sollicitation résultante en flexion dont le diagramme est dessiné dans la colonne elle-même.

Dans ce diagramme, les contraintes sont toujours plus grandes du côté des compressions que du côté des tractions. En effet, du côté des compressions, les contraintes de compression axiale s'additionnent à celles de flexion ($40+10=50$). Du côté des tractions au contraire, elles se soustraient des contraintes de traction ($40-10=30$).

Les colonnes fig. 17a–e supportent toutes un même poids de 100 kg mais celui-ci, à partir de la deuxième colonne (fig. 17b), agit au bout d'un bras de levier (h) de plus en plus long. De ce fait, uniquement par l'augmentation de plus en plus importante de la sollicitation en flexion surajoutée, la sollicitation des colonnes passe de 10 à 100 kg/cm². Elle est aussi fortement augmentée que dans les colonnes sollicitées en compression pure (fig. 16a–e) lorsque la charge, de 100 kg, devient 1000 kg.

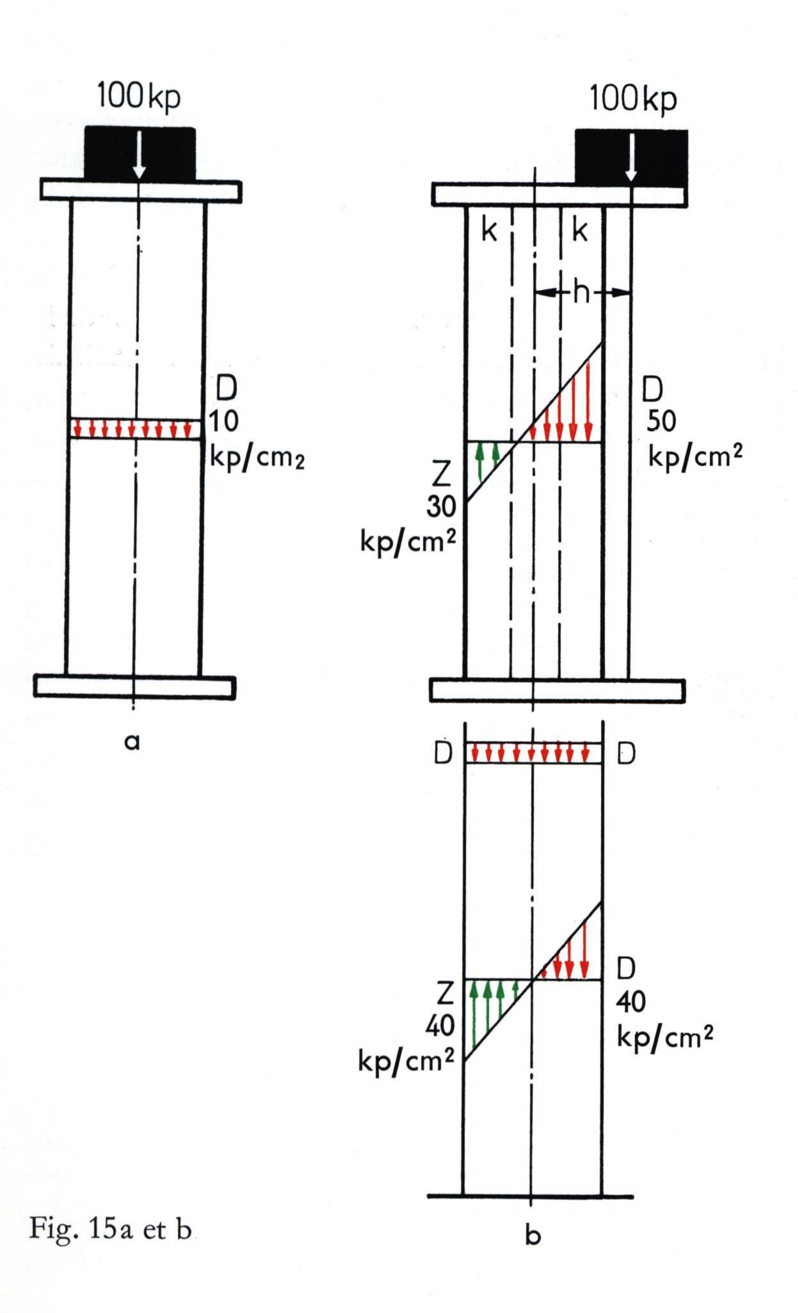


Fig. 15a et b

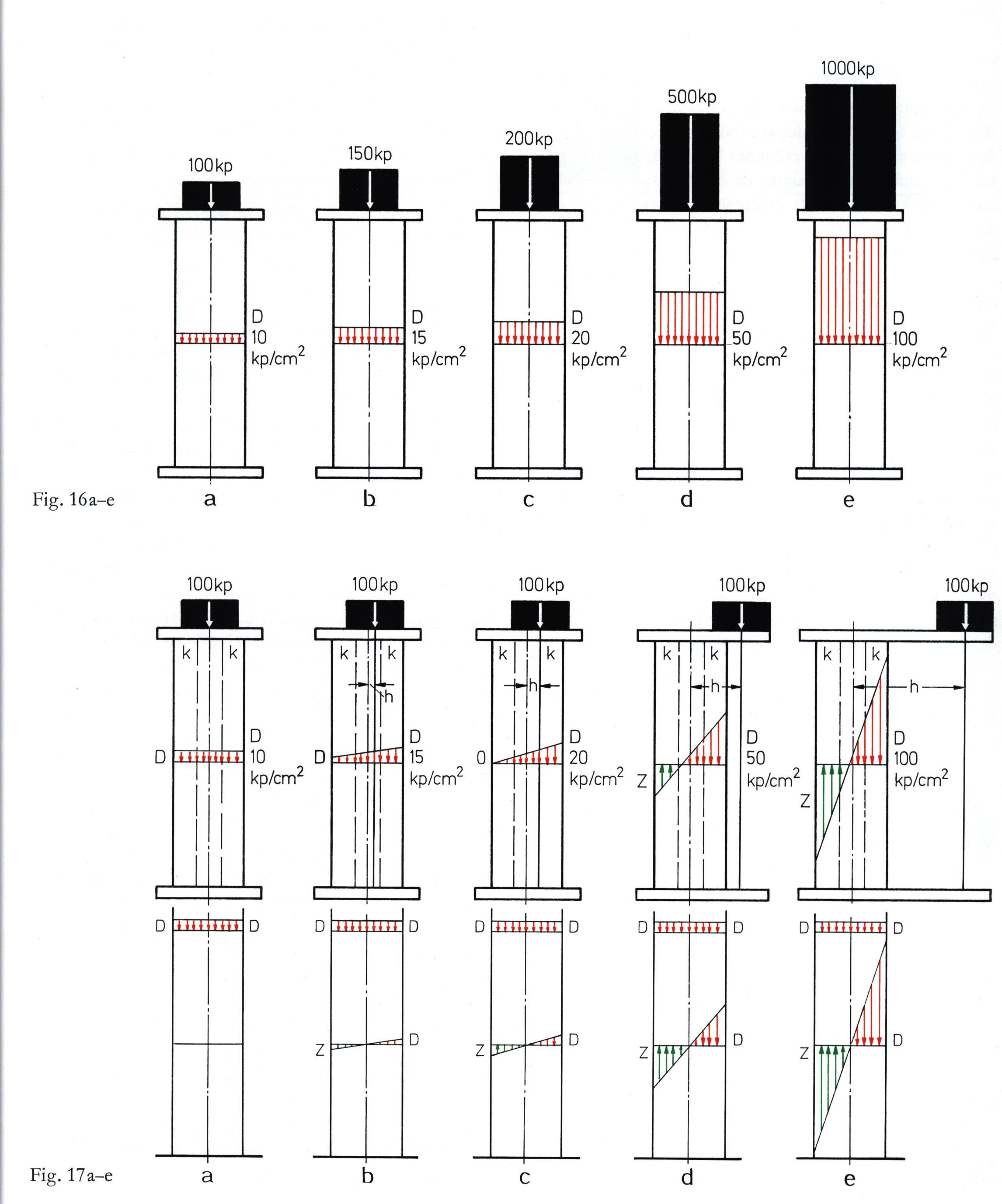


Fig. 16a–e

Fig. 17a–e

Comme le montrent ces exemples, lorsque *la compression est excentrique* c'est la *sollicitation surajoutée en flexion* qui détermine la grandeur de la sollicitation. C'est pourquoi elle est si dangereuse.

De plus, la longueur du bras de levier (*b*) de la force de compression, c-à-d. la grandeur de la sollicitation en flexion surajoutée à la compression, peut aussi influencer la qualité de la sollicitation (fig. 17a–e). Les deux dernières colonnes (fig. 17d et e) subissent des contraintes de compression et de traction alors que les colonnes b et c (fig. 17b et c) ne subissent que des contraintes de compression, sans contraintes de traction. Cette différence provient du fait que dans les colonnes (fig. 17b et c), la force de compression s'exerce dans le « noyau ».

En mécanique, le « noyau » (*k-k*) désigne une zone centrale de la coupe de la colonne. Son diamètre vaut $^1/_3$ à $^1/_4$ de celui de la coupe, selon la forme de celle-ci.

Si la force de compression croise la coupe dans la zone du noyau, son bras de levier est tellement court que les plus grandes contraintes de traction dues à la sollicitation en flexion surajoutée sont plus petites que les contraintes de compression axiale produites simultanément. Celles-ci sont simplement diminuées par les contraintes de traction provenant de la sollicitation en flexion. Lorsque la force de compression s'exerce à la limite du noyau, elles sont complètement annulées. Dans la coupe n'apparaissent que des contraintes de compression qui, d'un côté, sont notablement augmentées par l'addition des contraintes de compression dues à la sollicitation en flexion. Lorsque la force de compression agit en dehors du noyau, cas des 4ème et 5ème colonnes de la fig. 17 (d et e), la sollicitation en flexion surajoutée est telle que des contraintes de traction (*Z*) apparaissent aussi dans la coupe.

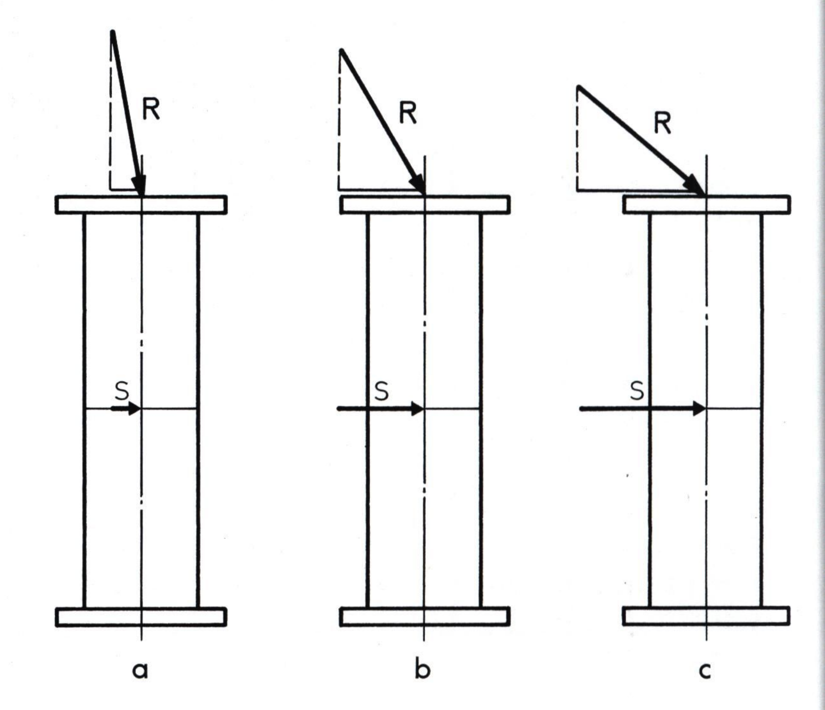
C'est de la sollicitation en flexion surajoutée à la compression que dépend la réaction de l'os et du cartilage épiphysaire à la sollicitation mécanique.

1. *Elle détermine* la grandeur *de la sollicitation. C'est la sollicitation en flexion surajoutée qui produit les contraintes les plus grandes dans la coupe.*
2. *Elle détermine* la qualité *de la sollicitation. C'est de la grandeur de la sollicitation en flexion surajoutée que dépend l'apparition dans la coupe soit uniquement de contraintes de compression, soit aussi de contraintes de traction.*
3. *C'est à cause de la sollicitation en flexion surajoutée que* les contraintes sont toujours plus élevées du côté des compressions que du côté des tractions.

Ce point est particulièrement important à considérer car la sollicitation en flexion surajoutée constitue de la sorte le moteur de l'adaptation fonctionnelle, non seulement par croissance en largeur — sur laquelle repose l'architecture trajectorielle du tissu spongieux — mais aussi par croissance en longueur. En effet, une augmentation unilatérale des contraintes de compression dans le cartilage épiphysaire entraîne une croissance inégale en longueur (Pauwels, 1958)[8].

Le troisième type de sollicitation est constitué par le cisaillement (fig. 18a–c). Parce que la force de compression *R* ne correspond pas à l'axe de la colonne mais lui est oblique, elle agit avec une composante (*S*) de cisaillement. Celle-ci entraîne dans la coupe des contraintes de cisaillement, qui augmentent avec l'inclinaison de la force (*R*) sur la verticale. La composante de cisaillement de la force de compression dépend de l'inclinaison de la force de compression sur l'axe de la colonne et garde la même grandeur dans toute la hauteur de celle-ci.

Fig. 18a–c



8 *Pauwels, F.*: Funktionelle Anpassung des Knochens durch Längenwachstum. Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 45. Kongr. Köln 1957, dans: Ges. Abh., p. 400–423. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965.

5. Influence de l'étendue de la surface en charge sur la grandeur de la sollicitation

Pour chaque type de sollicitation, la grandeur de celle-ci dépend de l'étendue de la surface qui transmet la charge. En effet, la grandeur des contraintes (force par unité de surface) est déterminée par le rapport entre la charge et la surface chargée:

$$\sigma = \frac{K\,(\text{kg})}{F\,(\text{cm})}.$$

Cette notion revêt une importance à la fois fondamentale et pratique.

Lorsque la surface de coupe de la colonne sollicitée en compression axiale est doublée (fig. 19a et b), la sollicitation, c-à-d. la grandeur des contraintes, est réduite de moitié: elle passe de 100 à 50 kg/cm². Si la surface de coupe de la colonne chargée excentriquement est doublée (fig. 20a et b), les contraintes maximales déterminant la grandeur de la sollicitation sont beaucoup plus fortement réduites: elles passent de 100 à 34 kg/cm², soit à $^1/_3$ environ.

Ainsi dans le cas de la sollicitation en flexion, le même agrandissement de la surface de coupe diminue beaucoup plus la grandeur des contraintes que dans le cas de la sollicitation en compression axiale. Ceci est particulièrement intéressant car l'os tubulaire est sollicité en flexion. Ainsi l'agrandissement de la coupe de l'os tubulaire constitue une mesure très efficace pour réduire sa sollicitation.

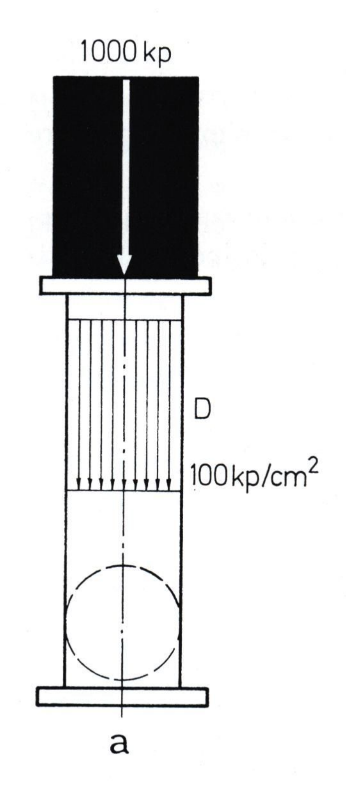


Fig. 19a et b

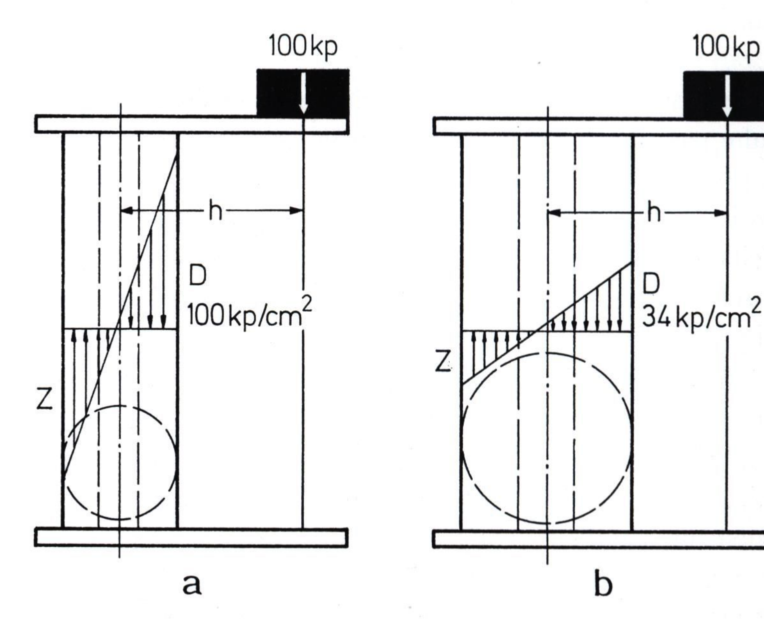


Fig. 20a et b

6. Sollicitation fondamentale de l'os tubulaire

Après cet aperçu des différents types de sollicitation, illustrés par des exemples théoriques, il faut étudier de plus près la sollicitation physiologique de l'extrémité supérieure du fémur.

A cette fin il est utile de partir à nouveau de raisonnements théoriques. Ils éclaireront les principes de la sollicitation mécanique de l'os tubulaire.

L'os tubulaire, en ce qui concerne sa fonction de soutien, peut en première approximation être comparé à une colonne supportant un poids excentré (fig. 21).

La colonne de la fig. 21a peut supporter pareil poids parce qu'elle fait corps avec la traverse sur laquelle le poids repose.

Si une articulation est interposée (fig. 21b), la colonne ne peut plus supporter le poids qui, faisant basculer la traverse, tombe.

Lorsqu'il existe une articulation, le poids ne sera donc supporté par la colonne que s'il est équilibré par un contrepoids, déposé à l'autre extrémité de la traverse (fig. 21c).

Comme ce schéma simple suffit déjà à le montrer, l'os tubulaire ne peut supporter une force agissant isolément — soit le poids du corps seul, soit une force musculaire seule — mais bien la résultante d'au moins deux forces qui s'équilibrent au niveau de l'articulation. Une force musculaire ou un groupe de forces musculaires agissant d'un côté de l'articulation ne peut que mobiliser celle-ci. En aucun cas elle ne peut à elle seule constituer la charge de l'os ni exercer sur celui-ci un effort susceptible de le déformer passivement.

Cette constatation ruine la théorie des muscles valgisants et varisants (*Grunewald*, 1919; *Bragard*, 1925; *F. Lange*; *T. v. Lanz* et *W. Wachsmuth*, 1938)[9]. D'autre part, le redressement du col fémoral durant la croissance ne résulte pas d'une déformation passive comme cette théorie le prétendait. Il est la conséquence d'un modelage actif par croissance inégale en longueur. Celle-ci provient de la sollicitation en flexion due à la situation excentrique de la force résultante de compression dans le cartilage épiphysaire (*Pauwels*, 1958)[10].

Le schéma simple de la fig. 21 ne peut cependant pas nous renseigner sur le type fondamental de sollicitation que subit l'os tubulaire du fait des forces qui s'exercent sur lui. Dans ce schéma en effet les deux poids agissent verticalement, parallèlement l'un à l'autre et à l'axe de la colonne. Celle-ci est donc sollicitée en compression axiale. Par contre, les forces qui agissent sur l'os long, poids du corps K et force musculaire M, sont divergentes. Si une seule (M) des forces n'est pas parallèle à l'axe de la colonne, la résultante (R) sera inclinée sur celui-ci. Or c'est elle qui détermine la sollicitation. La colonne se sera donc pas seulement sollicitée purement en compression mais aussi en flexion (C'est ce que montrent les diagrammes des fig. 22 et 23, qui représentent en D les contraintes de compression et en Z celles de traction).

A cause de la divergence des forces qui agissent sur lui, l'os tubulaire ne peut être sollicité purement en compression, contrairement à l'opinion de *Rauber* (1876)[11] et d'autres anatomistes. Comme la colonne du modèle, il doit être sollicité en flexion, même si son axe était une droite.

9 *Grunewald, J.:* Die Beanspruchung der langen Röhrenknochen des Menschen. Z. orthop. Chir. **39**, 27, 129, 257 (1919). *Bragard:* Verh. Dtsch. orthop. Ges., 20. Kongr. Hannover 1925, p. 156–165, Beil.-H. Z. Orthop. **47**. *Lange, F.:* Cité dans *v. Lanz, T.*, et *Wachsmuth, W.*, Praktische Anatomie, Bd. 1, Kap. 4: Bein und Statik. Berlin: Springer 1938.

10 Voir note 8 en bas de page 12.

11 *Rauber, A. A.:* Elasticität und Festigkeit der Knochen. Leipzig: Engelmann 1876.

Le schéma (fig. 22) indique le type de sollicitation d'un fragment d'os tubulaire qui n'est articulé qu'à son extrémité supérieure. Son extrémité inférieure est supposée fixe comme celle de la colonne. C'est le cas, par exemple, de l'extrémité supérieure du fémur à hauteur de l'insertion des abducteurs.

Pour comprendre la sollicitation de l'os entier, articulé à ses deux extrémités, il faut dans le schéma ajouter une articulation à l'extrémité inférieure de la colonne (fig. 23). Pour que celle-ci puisse encore être chargée et ne bascule pas sous l'effet de la résultante qui agit obliquement sur elle, une troisième force (M_1) doit fixer l'articulation inférieure. Elle s'applique à la colonne elle-même et empêche celle-ci de basculer. Il faut que la résultante R des deux forces exercées sur l'extrémité supérieure de la colonne se compose avec la troisième force inférieure (M_1) de telle sorte que la résultante (R_1) des trois forces croise le centre de rotation de l'articulation inférieure. Cette condition y rétablit l'équilibre indispensable.

Comme le montre le schéma fig. 23, les deux résultantes R et R_1 s'écartent progressivement de l'axe de la colonne tout en s'éloignant des articulations. *Elles ne peuvent correspondre à la ligne qui joint les centres de rotation de celles-ci, c-à-d. à l'axe mécanique de la colonne.* Ce fait revêt une signification fondamentale car il implique que toutes les recherches sur la résistance de l'os, dans lesquelles celui-ci est chargé dans la direction de son axe mécanique — ce qui est généralement le cas — doivent conduire à des résultats erronés.

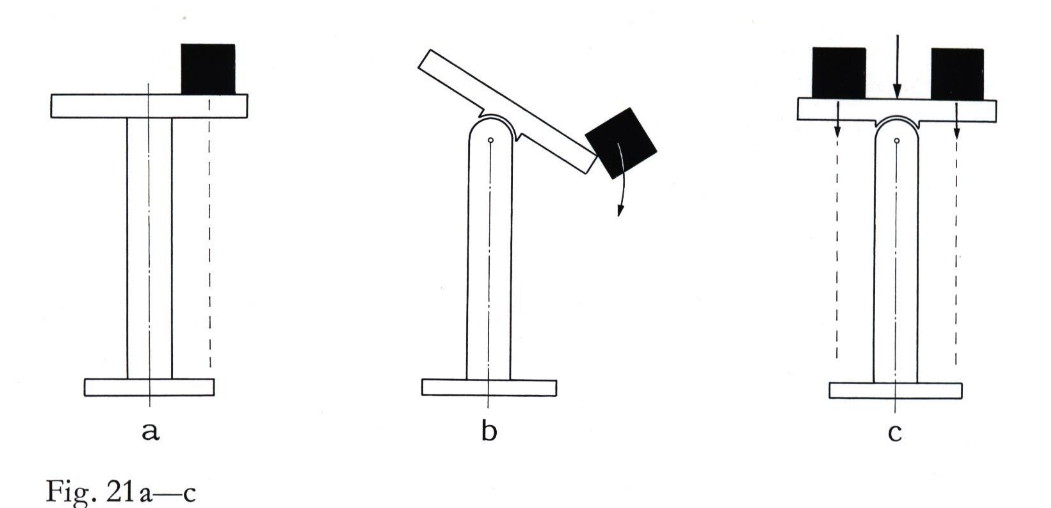


Fig. 21 a—c

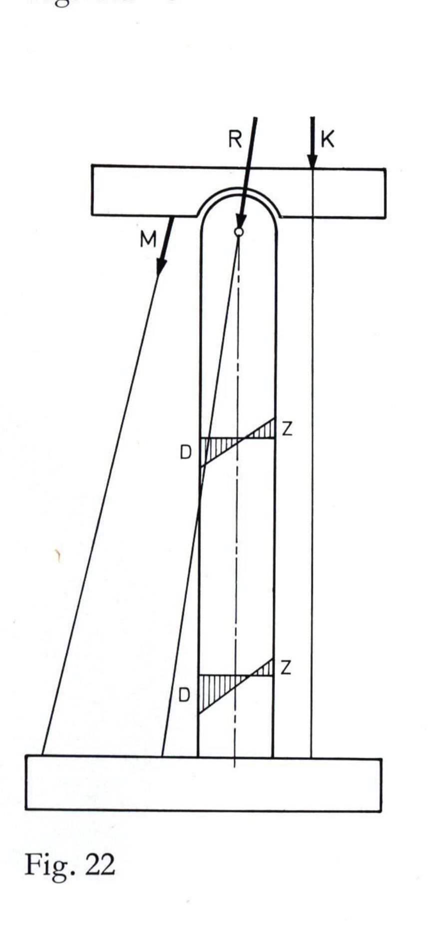


Fig. 22

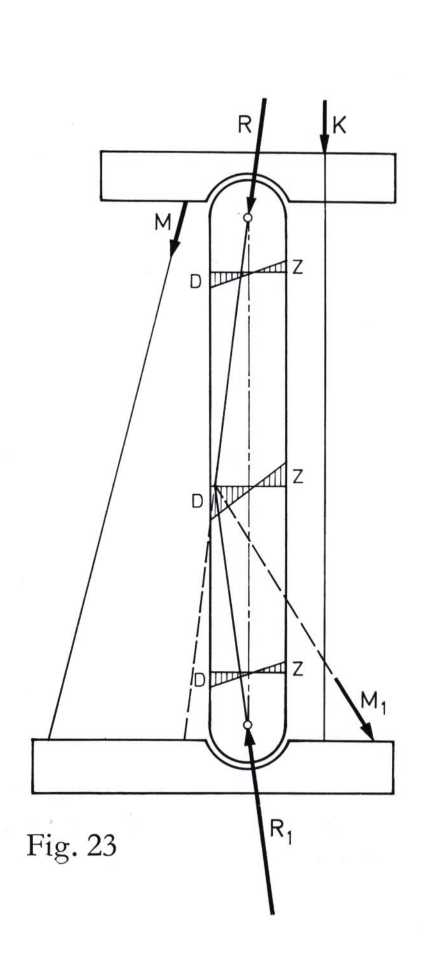


Fig. 23

Cette déduction est illustrée, entre autres, par les conclusions grotesques de la monographie de *Koch* (1917)[12] souvent encore citée comme modèle. Sur la base de calculs exacts obtenus à partir de 24 coupes du fémur, l'auteur conclut que la solidité de l'os fluctue entre 130 et 2100 lb/in² (fig. 24 où la résistance du fémur est indiquée en ordonnées, le n° d'ordre des coupes fémorales en abscisses). D'après ces résultats, le fémur représenterait une construction absolument aberrante, bâti avec un gaspillage énorme de matériau. Pareille conclusion erronée provient en partie du fait que *Koch* (1917)[12] considérait la coupe passant par le grand trochanter comme entièrement portante. En réalité, le flux de forces passe à la base du grand trochanter qui n'est lui-même sollicité que par la traction des abducteurs (*Baumann*, 1951)[13].

L'image radiologique d'une ankylose de hanche en apporte la confirmation (fig. 25). On y voit clairement que les arcs de travées spongieuses passent à la base du grand trochanter. Ce dernier ne montre plus aucune structure car l'ankylose de hanche a supprimé la traction des abducteurs qui le sollicitaient.

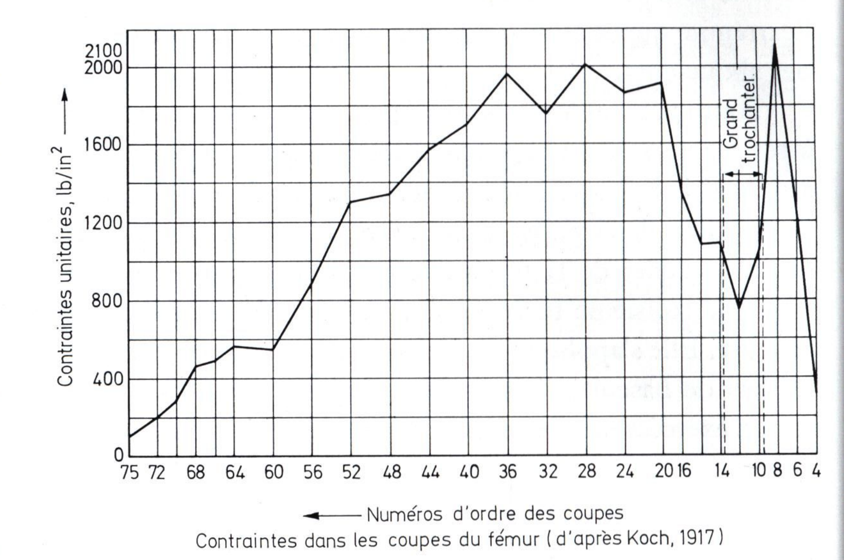
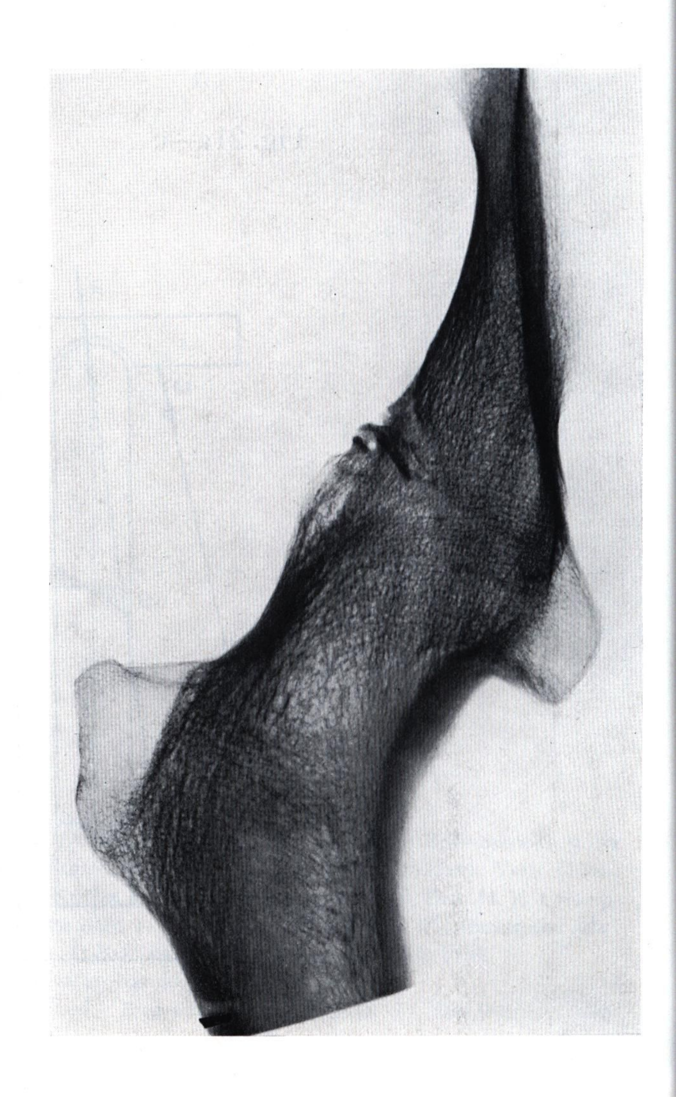


Fig. 24

Fig. 25



12 *Koch, J.C.*: The laws of bone architecture. Amer. J. Anat. **21**, 177–298 (1917).

13 *Baumann, W.*: Die Bedeutung des Trochanter major für die Festigkeit des Oberschenkels. Med. Diss. Frankfurt 1951.

7. Sollicitation physiologique de l'extrémité supérieure du fémur

Fig. 26

La tête du fémur et l'articulation de la hanche sont physiologiquement sollicitées en compression pure parce que la force résultante s'exerce perpendiculairement à leur surface. Les contraintes de compression (*D*) sont également distribuées sur les surfaces portantes (fig. 26). La grandeur de la sollicitation en compression de la tête fémorale et la pression articulaire ne dépendent pas seulement de la grandeur de la charge, c-à-d. de la force de compression résultante *R*, mais aussi et surtout de l'étendue de la surface qui transmet la charge. Cette surface portante ne correspond pas à la portion de sphère articulaire en charge mais à sa projection sur un plan perpendiculaire à la direction de la force de compression résultante. Pour une tête fémorale de 5 cm de diamètre, elle vaut à peu près 9 cm² (d'après *Kummer*, 1969)[14]. Par conséquent, une charge *R* de 200 kg provoque une pression articulaire moyenne physiologique d'environ 22 kg/cm².

Le col fémoral est sollicité en flexion par la force de compression résultante *R* puisque celle-ci ne correspond pas à l'axe du col mais agit sur lui au bout d'un bras de levier *h*. Dans la partie médiale du col apparaissent des contraintes de compression (*D*), dans sa partie latérale des contraintes plus petites de traction (*Z*) car la résultante *R* n'agit pas dans le noyau. La surface portante de la coupe envisagée peut être évaluée à 3 cm², compte tenu de la différence de résistance entre os cortical et os spongieux. Par conséquent, les contraintes maximales, qui déterminent la grandeut de la sollicitation, valent 198 kg/cm² du côté médial correspondant aux compressions, 66 kg/cm² du côté latéral correspondant aux tractions. En outre, l'extrémité supérieure du fémur est sollicitée en cisaillement. Dans la coupe envisagée, les contraintes de cisaillement atteignent environ 31 kg/cm².

14 *Kummer, B.:* Die Beanspruchung der Gelenke, dargestellt am Beispiel des menschlichen Hüftgelenks. Verh. Dtsch. Ges. Orthop., 55. Kongr., Kassel 1968, p. 301–311. Stuttgart: Enke 1969.

8. L'architecture fonctionnelle de l'extrémité supérieure du fémur

L'extrémité supérieure du fémur est parfaitement adaptée à la qualité et à la grandeur de sa sollicitation physiologique. Elle est construite avec la plus grande économie de matériau, aussi bien en ce qui concerne la répartition du matériau dans la coupe qu'en ce qui regarde l'architecture du tissu spongieux (*Pauwels*, 1954)[15]. La fig. 27 représente la radiographie d'une extrémité supérieure du fémur. On y a pratiqué aux niveaux Q_1, Q_2, Q_3, des coupes qui sont présentées fig. 28 de Q_1 en haut à Q_3 en bas.

Considérons un modèle photo-élastique de cette même extrémité. La distribution quantitative des contraintes (isochromes, fig. 29) y correspond remarquablement à la répartition quantitative du tissu osseux. La comparaison entre l'image radiologique et les coupes (fig. 27 et 28) d'une part, et les ordres d'isochromes (fig. 29) d'autre part le démontre. La plus grande partie du tissu osseux se trouve aux endroits du col fémoral où, dans le modèle, se produisent les contraintes de compression et de traction les plus élevées, dans les corticales médiale et latérale (isochromes 5–16). Dans la région du triangle de Ward où ne s'exercent que des contraintes très petites (isochrome 1), le tissu osseux est peu abondant.

L'os spongieux est bâti avec un minimum de matériau car il forme un treillis trajectoriel dont les éléments sont à l'abri de la flexion. Ceci a été finalement démontré (*Pauwels*, 1947)[16]. Même les nœuds ne subissent pas de sollicitation en flexion. Les éléments des travées spongieuses principales sont donc sollicités purement en compression ou en traction. Ils subissent ainsi la sollicitation la plus petite possible, ce qui réduit au minimum la quantité de matériau.

15 *Pauwels, F.:* Über die Verteilung der Spongiosadichte im coxalen Femurende und ihre Bedeutung für die Lehre vom funktionellen Bau des Knochens. Morph. Jb. **95**, 35–54 (1954), dans Ges. Abh., p. 386–399. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965.

16 *Pauwels, F.:* Bedeutung und kausale Erklärung der Spongiosaarchitektur in neuer Auffassung. Sitzungsber. der Anatomen-Tagg. in Bonn, Sept. 1947. Ref. Ärztl. Wschr. **3**, 379 (1948).

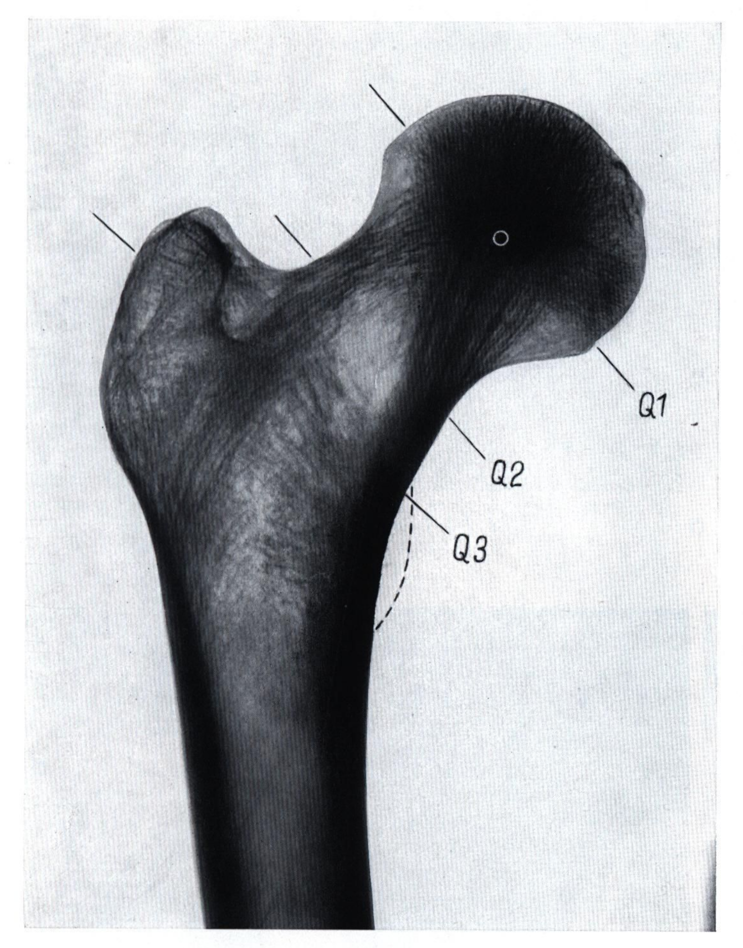


Fig. 27

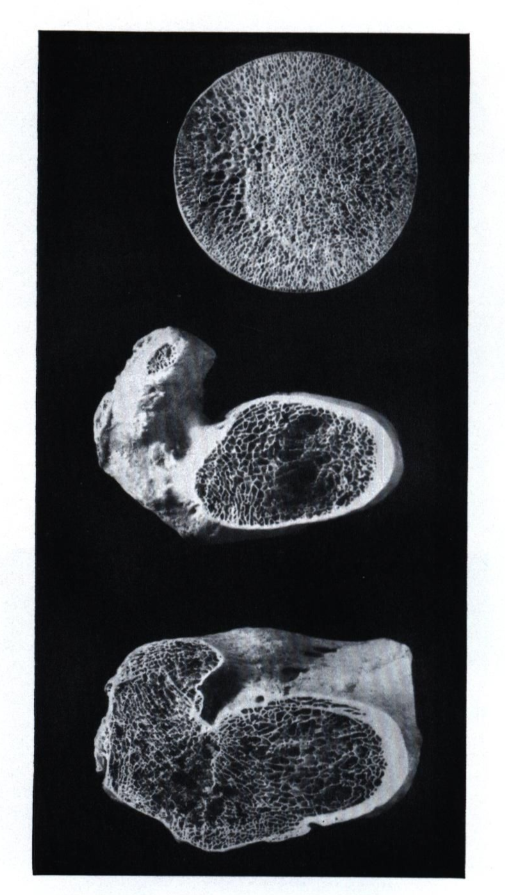


Fig. 28

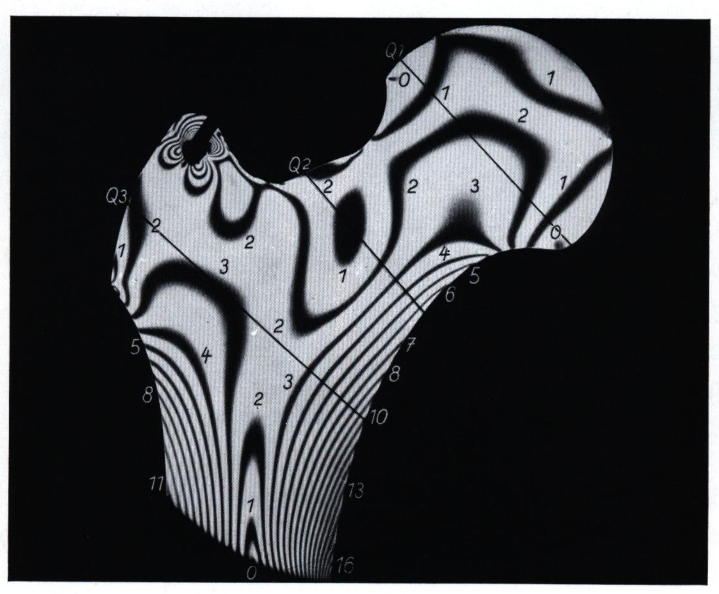
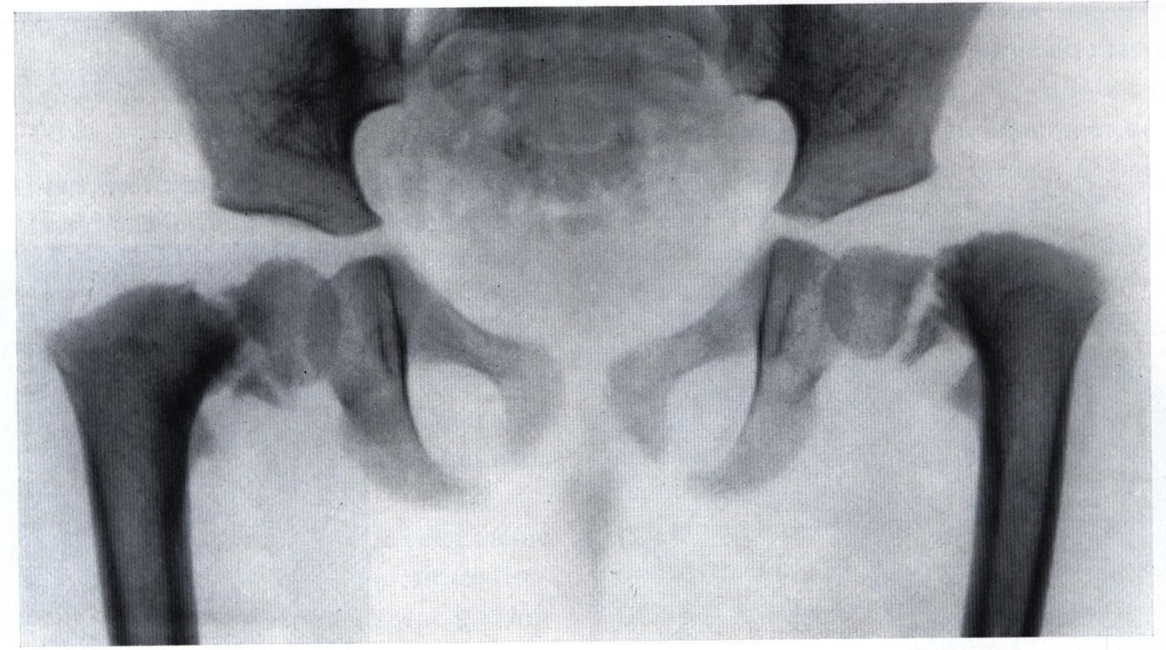


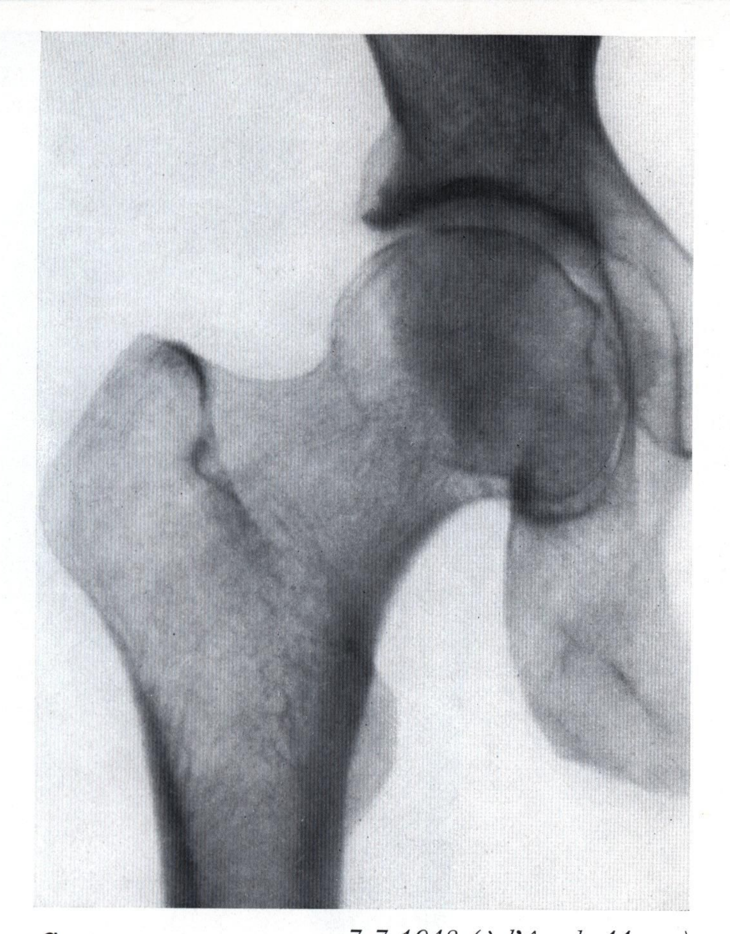
Fig. 29



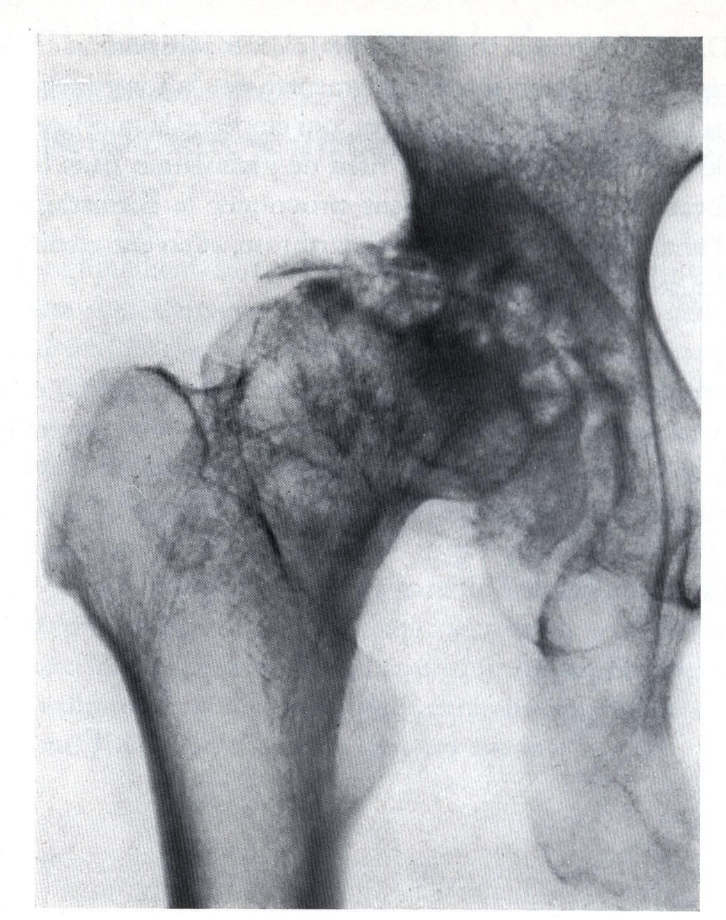
a *24.10.1931 (à l'âge de 4 ans)*

b *3.10.1952 (à l'âge de 25 ans)*

Fig. 30a et b. *O.M.*, ♂



a 7.7.1948 (*à l'âge de 44 ans*)



b 9.12.1959 (*à l'âge de 55 ans*)

Fig. 31a et b. *M.Ch.*, ♀

9. Conséquences d'une perturbation de l'équilibre entre la résistance des tissus et leur sollicitation mécanique

Normalement il existe un équilibre entre la résistance de l'extrémité supérieure du fémur d'une part, la grandeur et le mode de sollicitation mécanique que cette extrémité subit d'autre part. Lorsque l'équilibre est rompu par insuffisance mécanique d'origine soit congénitale, soit acquise, la limite de tolérance à la sollicitation mécanique peut être à ce point abaissée que même une sollicitation de grandeur physiologique entraîne des effets pathologiques. Chacune des trois composantes de cette sollicitation — compression, flexion et cisaillement — peut déclencher et entretenir une affection typique.

1. Lorsque le col fémoral est insuffisant à la naissance, sa sollicitation physiologique en flexion entraîne une coxa vara dite congénitale. La déformation passive initiale du col déclenche un cercle vicieux. Celui-ci augmen tede plus en plus la sollicitation en flexion et en cisaillement et peut ainsi entraîner la progression inexorable de la déformation jusqu'à son stade terminal caractéristique. La fig. 30a et b fournit pareil exemple d'un cas non traité.

2. Une pression articulaire normale peut provoquer une coxarthrose idiopathique (fig. 31a et b). Dans son décours ultérieur, celle-ci aboutira éventuellement à des altérations pathologiques graves de l'articulation, analogues à celles de la coxarthrose secondaire sur hanche dysplasique qui, elle, est provoquée d'abord par une pression articulaire anormalement élevée.

3. Dans la fracture du col du fémur, c'est la sollicitation en cisaillement, souvent très augmentée par la forte inclinaison des surface fracturaires, qui empêche la guérison de l'os. Par étirement du tissu de granulation dans le foyer de fracture, elle peut provoquer la formation d'une liaison fibreuse, la pseudarthrose, et en entretenir l'existence (fig. 32).

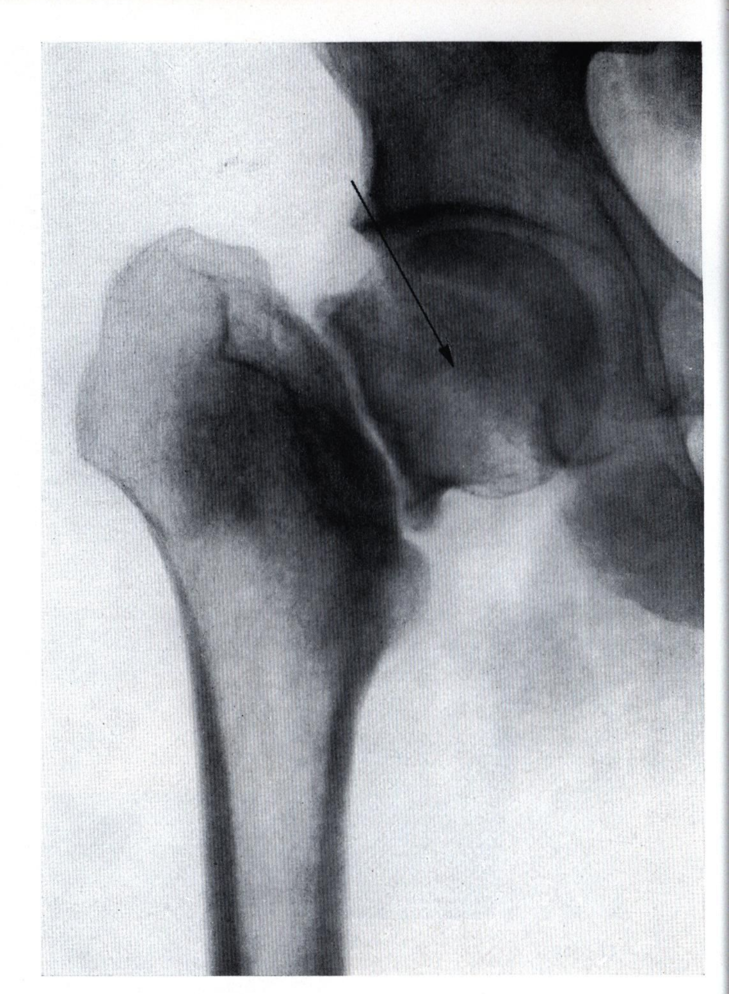


Fig. 32. *O.C.*, ♂ *6.9.1944*
4 1/2 ans après la fracture

10. Thérapeutique causale des trois affections citées: coxa vara congénitale, pseudarthrose du col fémoral, coxarthrose

Logiquement, une thérapeutique causale de ces trois maladies doit s'attaquer à la sollicitation mécanique. *Elle doit adapter la grandeur et la qualité de la sollicitation mécanique à la capacité de réaction des tissus de sorte que la sollicitation mécanique, non seulement perde son action néfaste, mais aussi déclenche une réaction biologique qui restaure activement et de façon durable l'équilibre entre la grandeur et la qualité de la sollicitation d'une part, la résistance des tissus d'autre part.*

Pour pouvoir appliquer pareille thérapeutique, il faut savoir que l'angle cervico-diaphysaire exerce une influence déterminante sur la charge ainsi que sur la grandeur et la qualité de la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur. Il faut aussi en connaître les raisons.

11. Influence de l'angle cervico-diaphysaire sur la charge et la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur

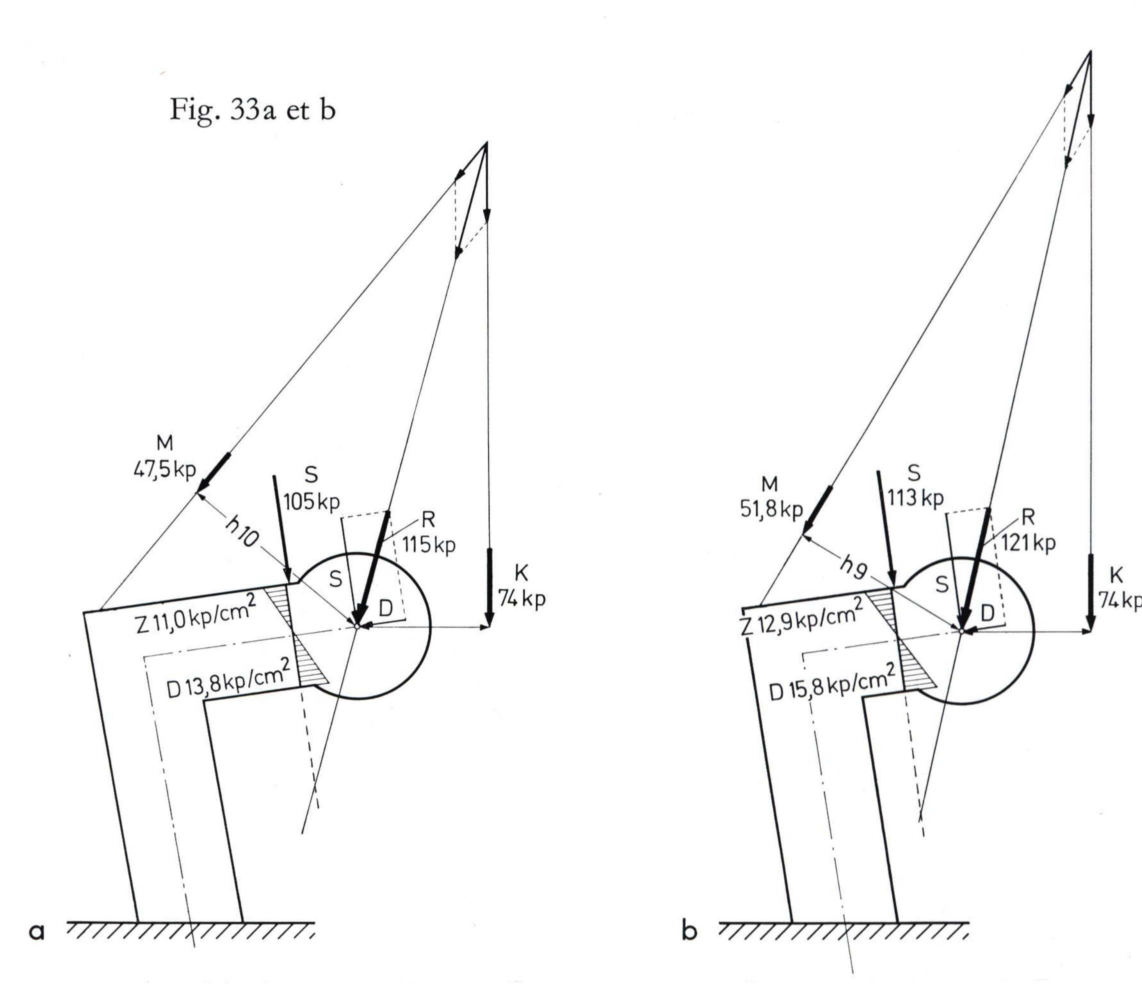
Les dessins fig. 35* et 37 illustrent l'influence de la situation et de la grandeur anormales de la force de compression résultante *R* sur la charge et la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur dans la coxa vara et dans la coxa valga.

Pour permettre la comparaison quantitative, cette analyse s'appuiera sur les dessins fig. 34, 35 et 37, qui présentent les caractéristiques d'une coxa vara et d'une coxa valga, avec une restriction toutefois : la longueur du col fémoral n'est pas modifiée par la déformation. Cette restriction est indispensable car la longueur du col fémoral exerce une influence sur la grandeur de la sollicitation mécanique. *Stauss* (1938)[17] l'avait déjà indiqué dans une monographie. D'après lui, un raccourcissement du col fémoral diminue sa sollicitation en flexion proportionnellement à ce raccourcissement. Cette conception est erronée. C'est le contraire qui se vérifie. Le raccourcissement du col fémoral diminue la longueur du bras de levier de la force musculaire *M*. Pour assurer l'équilibre, celle-ci doit donc être d'autant plus grande et, par conséquent, plus grande aussi la force de compression résultante. La réduction du moment fléchissant due au raccourcissement du col est plus que compensée par l'augmentation de la force résultante *R*. Ainsi le raccourcissement du col fémoral ne diminue pas sa sollicitation en flexion mais, au contraire, elle l'accroît (fig. 33a et b).

Dans le cas d'un col long (a) comme dans celui d'un col court (b), la charge *K* de 74 kg s'exerce à la même distance du centre de la tête fémorale. Si le col est court, la direction des muscles abducteurs *M* est moins inclinée et leur bras de levier *h* est un peu plus court. Par conséquent, la force *M* doit être plus grande (51,8 kg alors qu'elle vaut 47,5 kg pour le col long). Ceci accroît la résultante *R* qui, de 115 kg, passe à 121 kg. La résultante *R* se décompose, au centre de la tête fémorale, en une composante de compression *D* et une composante de cisaillement *S*. Comme le montre la fig. 33b, dans le cas du col court la force de cisaillement *S* est accrue, de même que les contraintes *D* et *Z* provenant de la flexion.

* Dans les fig. 35 et suivantes, *CCD* signifie *angle cervico-diaphysaire.*

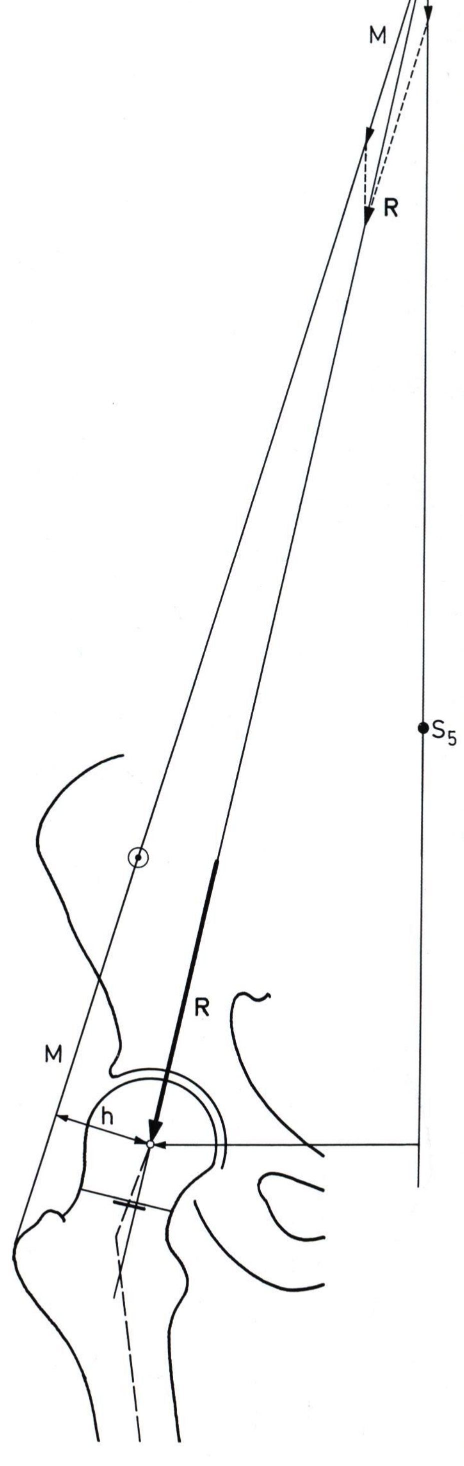
Fig. 33a et b



17 *Stauss, A.:* Die Ätiologie der Hüftgelenkdeformitäten. Z. Orthop. **69**, Beil.-H. (1938).

Les dessins schématiques fig. 34a–c montrent uniquement comment l'angle cervico-diaphysaire (désigné par *CCD* dans les schémas suivants) influence la direction, la situation et la grandeur des forces en jeu. Dans la coxa vara, le grand trochanter est situé plus haut que normalement. Dans la coxa valga il est plus bas. En conséquence, la force musculaire *M* présente une situation et une dirction anormales. De ce fait, son point d'intersection *X* avec la ligne d'action du poids partiel *K* du corps est déplacé vers le bas dans la coxa vara, vers le haut dans la coxa valga. A cause de la situation anormale du point d'intersection *X* en hauteur, la force résultante *R* — dont la ligne d'action relie le point d'intersection *X* et le centre de la tête fémorale — présente une inclinaison plus prononcée que la normale dans la coxa vara. Elle est par contre moins inclinée dans la coxa valga. Dans l'un et l'autre cas, sa grandeur est différente de la normale. Dans la coxa vara, le bras de levier *h* des abducteurs est allongé (b). Dans la coxa valga, il est raccourci (c).

Fig. 34a–c



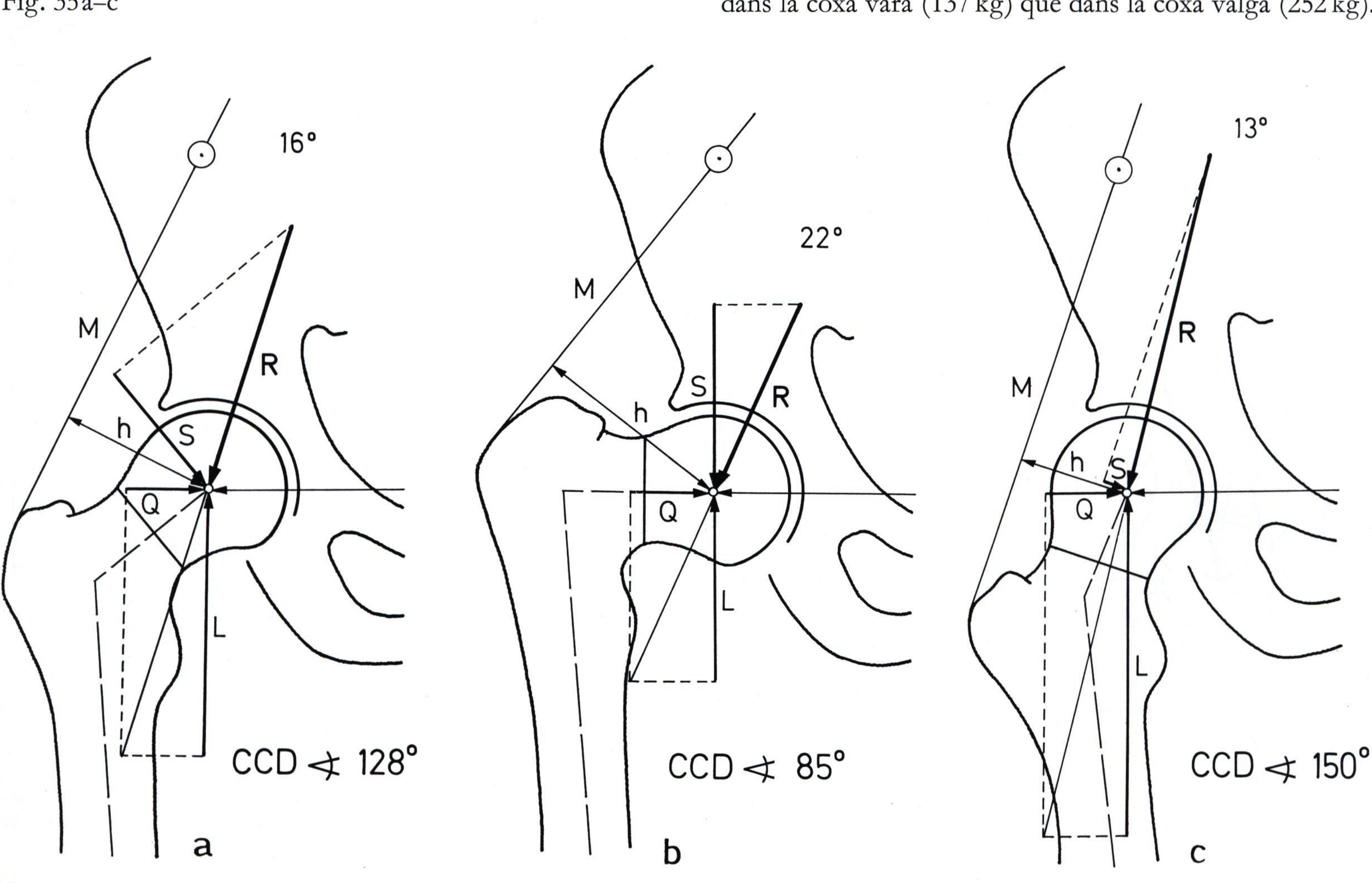
a) Influence de l'angle cervico-diaphysaire (CCD) sur la charge de l'extrémité supérieure du fémur

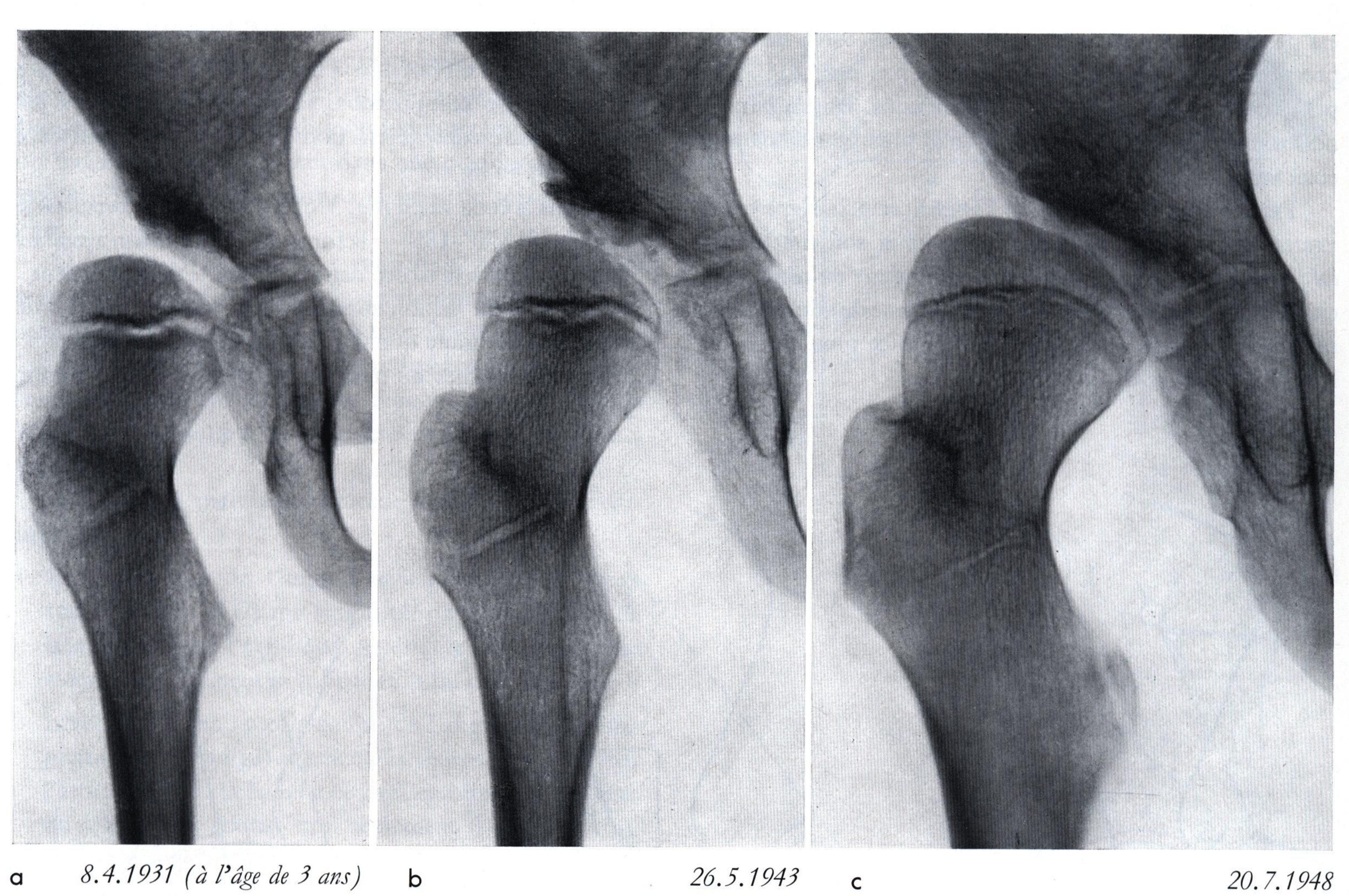
Si la charge physiologique de l'extrémité supérieure du fémur (fig. 35a–c), c-à-d. la grandeur de la force de compression résultante *R*, vaut 200 kg, dans la coxa vara elle devient 150 kg; dans la coxa valga 258 kg. Dans la coxa vara elle est donc environ 25% plus petite que normalement; dans la coxa valga, à peu près 25% plus grande.

La composante de cisaillement *S* de la force de compression résultante *R*, normalement de 108 kg environ, est notablement plus grande dans la coxa vara (137 kg), bien que la charge de l'extrémité supérieure du fémur y soit plus petite que dans la hanche normale. Par contre, dans la coxa valga, la composante de cisaillement *S* est très petite ou même nulle, quoique la charge de l'extrémité supérieure du fémur soit beaucoup plus grande que normalement.

En outre, le changement de direction et de grandeur de la force de compression résultante *R* modifie la grandeur de la composante longitudinale *L* et de la réaction à cette composante longitudinale qui pousse la tête fémorale vers le haut dans le cotyle et, en cas de subluxation, est responsable de l'élargissement du cotyle vers le haut (fig. 36a–c). La composante longitudinale *L* est à peu près moitié plus petite dans la coxa vara (137 kg) que dans la coxa valga (252 kg).

Fig. 35a–c





a *8.4.1931 (à l'âge de 3 ans)* b *26.5.1943* c *20.7.1948*

Fig. 36a–c. *v.M.K.*, ♀

b) Influence de l'angle cervico-diaphysaire sur la sollicitation de l'extrémité supérieure du fémur

L'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire n'a qu'une influence limitée sur la grandeur de la sollicitation de la *tête fémorale* et sur *la pression articulaire* (fig. 37a–c). Puisque tête fémorale et articulation de la hanche sont sollicitées uniquement en compression, la grandeur de leur sollicitation est proportionnelle à la charge, c-à-d. à la force de compression résultante *R*. Elle est donc à peu près 25% plus petite dans la coxa vara (16,5 kg/cm²) que dans la hanche normale (22 kg/cm²), à peu près 25% plus grande dans la coxa valga (27,5 kg/cm²).

Par contre, l'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire exerce une influence déterminante sur la sollicitation du *col fémoral*. En effet, la qualité et la grandeur de cette sollicitation dépendent de la situation de la force de compression résultante *R*, dans le noyau ou à distance plus ou moins longue en dehors de celui-ci.

Lorsque l'angle cervico-diaphysaire est normal (fig. 37a), la distance entre la force de compression résultante *R* et le noyau est relativement petite. Par conséquent, la grandeur de la sollicitation en flexion surajoutée est telle que les contraintes de compression maximales atteignent 198 kg/cm², les contraintes de traction maximales, 66 kg/cm² et les contraintes de cisaillement, 36 kg/cm².

Dans la coxa vara (fig. 37b), la distance du noyau à la ligne d'action de la force de compression résultante *R* est nettement plus grande, de même que l'inclinaison de *R* par rapport au plan de la coupe. Par conséquent, la sollicitation du col fémoral est notablement plus élevée. Les contraintes maximales de compression valent 297 kg/cm², les contraintes maximales de traction 165 kg/cm² et celles de cisaillement 46 kg/cm².

Dans la coxa valga (fig. 37c), — avec angle cervico-diaphysaire de 150°–155° — la force de compression résultante *R* est au contraire située dans le noyau. Par conséquent, la sollicitation en flexion surajoutée est tellement petite qu'il n'y a dans la coupe que des contraintes de compression et pas de contraintes de traction. Dans ce cas, le col fémoral

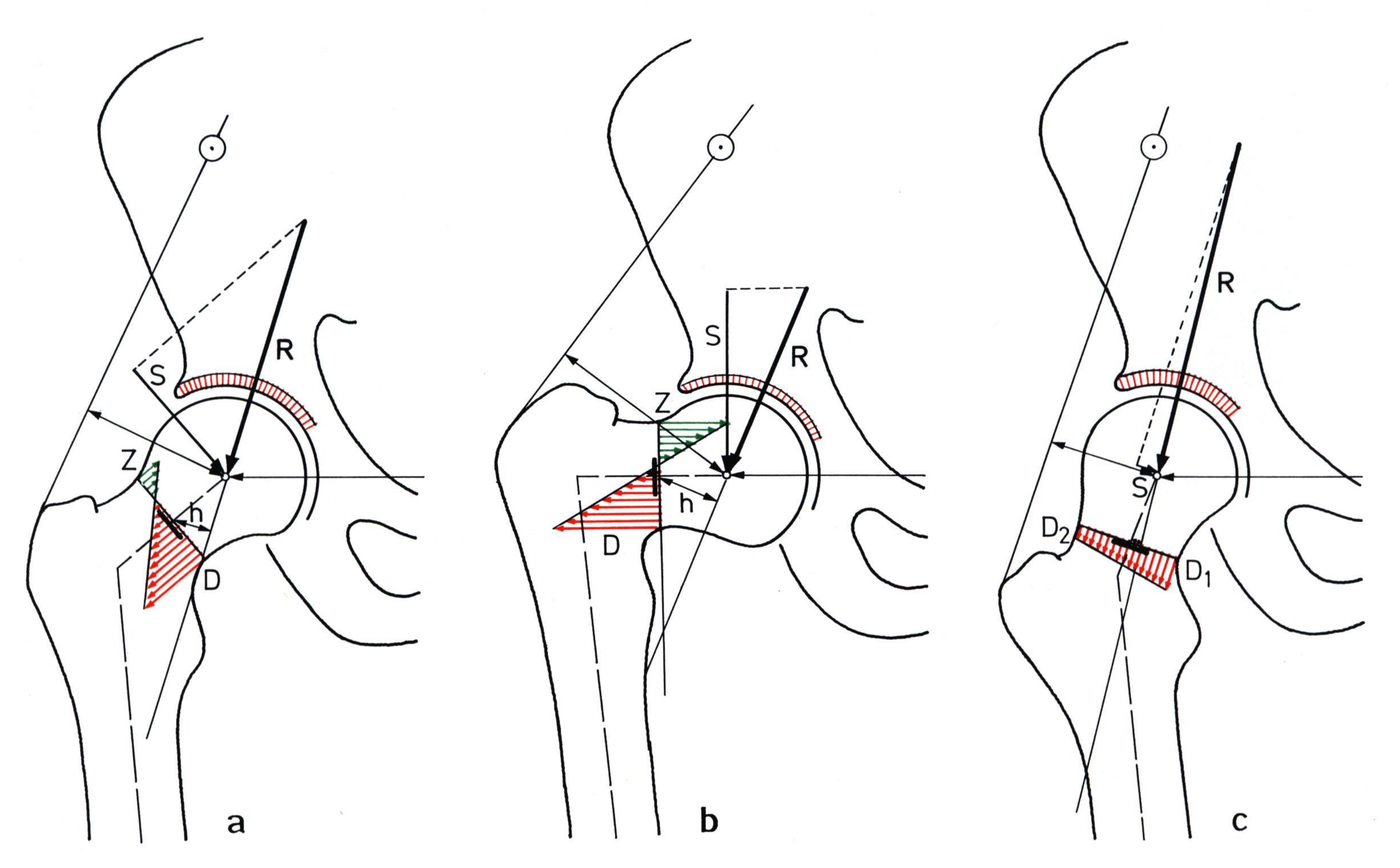


Fig. 37a–c

est donc sollicité uniquement en compression. Sa sollicitation (99 kg/cm² est à peu près 3 fois moindre que dans la coxa vara (297 kg/cm²). Il subit peu ou pas de contraintes de cisaillement.

En outre, de l'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire dépend la position de la tête fémorale dans son cotyle. Lorsque les contours articulaires sont incongruents, cette position peut avoir une influence décisive sur l'étendue des surface en contact et sur celle des surfaces portantes de l'articulation et, par là, sur la grandeur de la pression articulaire. Le schéma théorique (fig. 38a) l'illustre.

Dans ses positions supérieure et inférieure, l'étai mobile s'appuie à la poutre qu'il soutient par un seul coin. Une augmentation ou une diminution exactement dosée de son inclinaison peut le placer dans une position telle qu'il supporte la poutre par toute la largeur de son extrémité libre.

Les schémas fig. 38b et c montrent, pour différents types d'incongruence des contours articulaires, l'agrandissement des surfaces portantes de l'articulation de la hanche. Il s'obtient dans un cas (fig. 38b) par un basculement exactement mesuré du col fémoral en dedans (varisation), dans l'autre cas (fig. 38c) par un basculement adéquat en dehors (valgisation).

En bref, de l'analyse qui précède ressortent les conclusions suivantes:

1. Une réduction de l'angle cervico-diaphysaire (coxa vara) diminue la charge supportée par l'articulation de lahanche et par l'extrémité supérieure du fémur mais augmente fortement la sollicitation du col fémoral.

2. Inversement, un accroissement de l'angle cervico-diaphysaire (coxa valga) augmente la charge supportée par l'articulation de la hanche et par l'extrémité supérieure du fémur. Par contre, non seulement il diminue considérablement la sollicitation du col fémoral mais il modifie fondamentalement la qualité de cette dernière. Dans la coxa valga, le col est sollicité uniquement en compression et peu ou pas du tout en cisaillement.

3. La composante longitudinale L de la force de compression résultante, qui pousse la tête fémorale vers le haut dans le cotyle et qui dans la subluxation est responsable du cotyle fuyant, est moitié moins grande dans la coxa vara que dans la coxa valga.

4. Une modification de l'angle cervico-diaphysaire fait tourner la tête fémorale dans le cotyle. Ainsi les surfaces articulaires en contact et les surfaces portantes de l'articulation, réduites par une incongruence des surfaces articulaires, ne peuvent être agrandies qu'en faisant tourner très exactement la tête fémorale dans son cotyle en dedans ou en dehors suivant la situation offerte par chaque cas (fig. 38b et c).

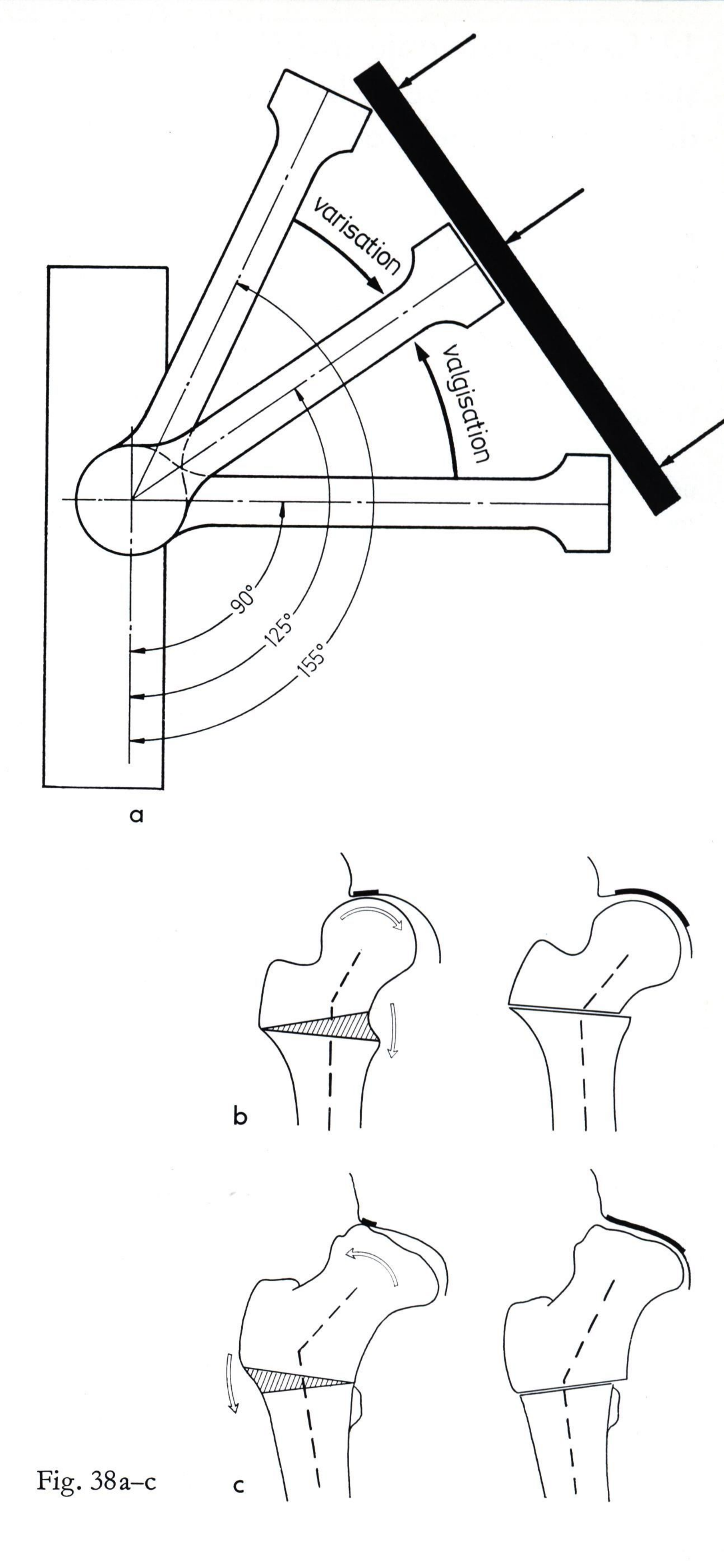


Fig. 38a–c

12. La structure trajectorielle du tissu spongieux, preuve de la sollicitation du col fémoral telle que décrite

La sollicitation du col fémoral diffère en qualité et en quantité selon que l'angle cervico-diaphysaire est normal, moins ouvert (coxa vara) ou plus ouvert (coxa valga). Le raisonnement théorique nous l'a fait découvrir. L'architecture du tissu spongieux mise en évidence par la radiographie de l'extrémité supérieure du fémur le confirme.

Il est maintenant bien établi que, malgré l'inhomogénéité de l'os, le tissu spongieux présente une architecture trajectorielle (*Pauwels*, 1947)[18]. L'examen de celle-ci permet de décider si la force de compression résultante R se trouve en dedans ou en dehors du noyau. Voilà donc un moyen de déduire la qualité et la grandeur de la sollicitation du col fémoral. Il faut pour cela connaître l'interdépendance entre l'image trajectorielle et la qualité de la sollicitation.

Le médecin n'est généralement pas familiarisé avec ces connaissances théoriques indispensables. Il est donc nécessaire de s'y arrêter.

Les colonnes fig. 39a–d sont sollicitées, comme l'extrémité supérieure du fémur, par l'intermédiaire d'une articulation, par une force de compression inclinée par rapport à leur axe. L'inclinaison de la force de compression par rapport à l'axe de la première colonne (fig. 39a) correspond approximativement à celle de la force résultante R lorsque l'angle cervico-diaphysaire est normal. La qualité et la grandeur de la sollicitation y sont représentées à différents niveaux par des diagrammes, de 1 à 6 (D compression, Z traction). Dans la colonne fig. 39b sont dessinées les trajectoires correspondantes. Dans la partie supérieure de ces deux colonnes, la force de compression se trouve dans le noyau jusqu'à la coupe marquée 0, où elle croise la limite du noyau. Aussi longtemps que la force de compression se trouve dans le noyau, la sollicitation en flexion surajoutée est si petite que n'apparaissent que des contraintes de compression pure de grandeur inégale et que des trajectoires de compression. Celles-ci vont de la périphérie de l'articulation vers le bas, dans la direction de la force de compression (voir page 11, fig. 17b et c).

En dessous de la coupe 0, la force de compression se trouve en dehors du noyau et s'écarte de plus en plus de celui-ci. Dès qu'elle est en dehors du noyau, la sollicitation en flexion surajoutée est telle qu'elle entraîne dans la coupe, non seulement des contraintes de compression mais aussi des contraintes de traction et, par conséquent, des trajectoires de traction (voir fig. 17d et e). A cause de la sollicitation simultanée en cisaillement, les trajectoires de traction forment des arcs caractéristiques allant du côté des tractions vers celui des compressions. Elles croisent à angle droit les trajectoires de compression.

Comme le montrent les colonnes fig. 39c et d, l'ouverture de l'angle entre force de compression et axe de la colonne exerce une influence déterminante sur la qualité de la sollicitation et, par là, sur l'image trajectorielle. Plus cet angle sera grand (coxa vara, fig. 39c), plus haut se trouvera la coupe 0, au niveau de laquelle la force de compression croise la limite du noyau, plus petite sera la partie supérieure de la colonne où la force de compression se trouve dans le noyau et où ne se produisent que des contraintes de compression et des trajectoires de compression.

Plus cet angle sera petit (coxa valga, fig. 39d), plus bas se trouvera la coupe 0 et plus longue sera la partie supérieure de la colonne, là où n'apparaissent que des contraintes et des trajectoires de compression, sans trajectoires de traction.

En ce qui concerne la sollicitation, on peut comparer le col fémoral à la partie des colonnes délimitée par des traits pointillés. Lorsque l'angle cervico-diaphysaire est normal (fig. 39b) et dans la coxa vara (fig. 39c), des trajectoires de compression et de traction doivent apparaître dans le col. Par contre dans la coxa valga (fig. 39d), il ne doit y avoir que des trajectoires de compression.

18 Voir note 16 en bas de page 18.

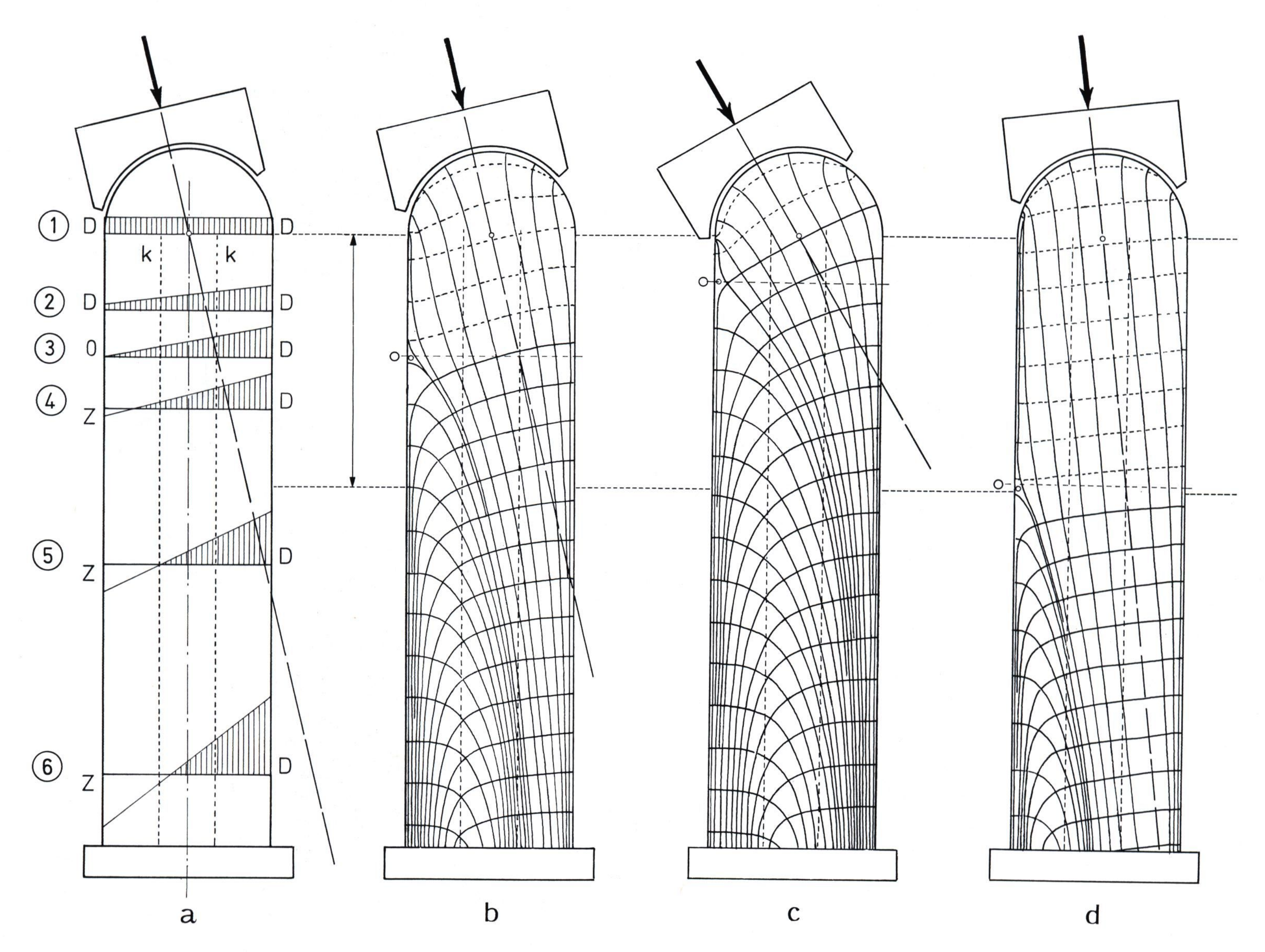


Fig. 39a–d

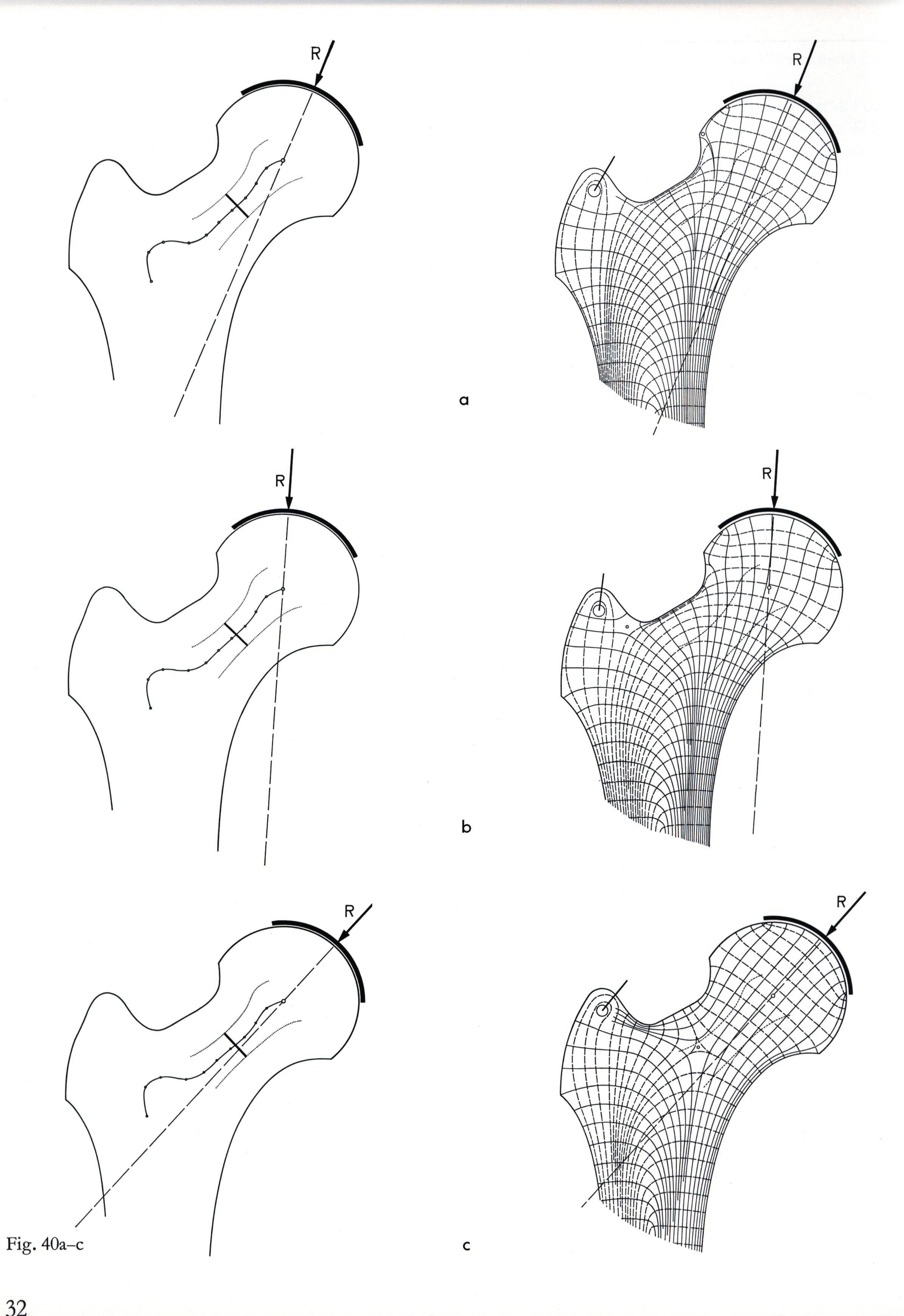


Fig. 40a–c

Tirer les conclusions ci-dessus du raisonnement théorique est parfaitement justifié. La mise en évidence de l'image trajectorielle dans un modèle photo-élastique de l'extrémité supérieure du fémur le démontre. L'expérience a été réalisée pour une direction de la force de compression résultante R correspondant à un angle cervico-diaphysaire normal (fig. 40a), à une coxa vara (fig. 40b) et à une coxa valga (fig. 40c). Les résultats de cette recherche de photoélasticité (fig. 40a–c) confirment que, si l'angle cervico-diaphysaire est normal (a), comme d'ailleurs dans la coxa vara (b), la force résultante se trouve en dehors du noyau. Par conséquent, des trajectoires de compression et des trajectoires de traction apparaissent dans le col fémoral. Par contre, dans la coxa valga (c), la force de compression résultante se trouve dans le noyau. Par conséquent, il n'y a dans le col fémoral que des trajectoires de compression.

En vue de déterminer l'axe de gravité du col fémoral, nécessaire pour délimiter le noyau, une pièce anatomique a été découpée en tranches parallèles. Le centre de gravité de chaque tranche a été précisé en mettant la tranche en équilibre sur la pointe d'une aiguille. Il est indiqué par un grain de plomb radio-opaque (voir radiographie fig. 40d).

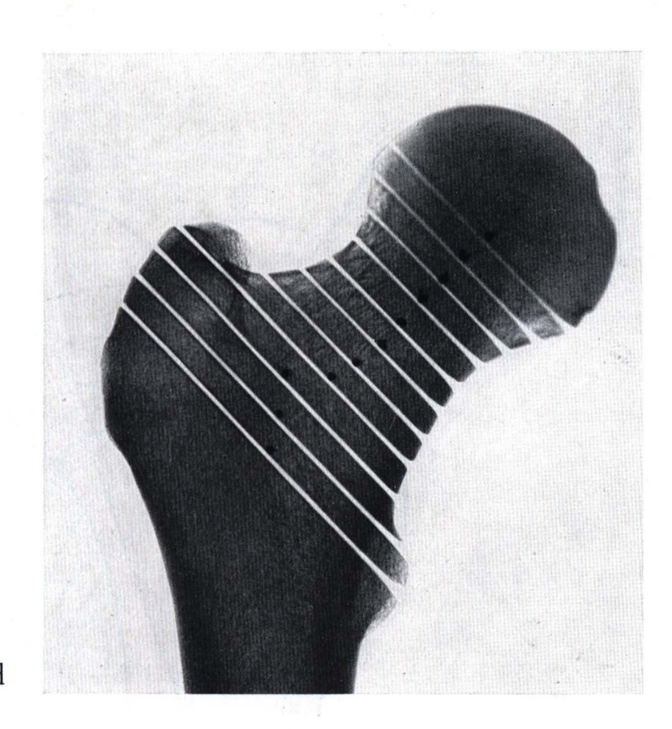


Fig. 40d



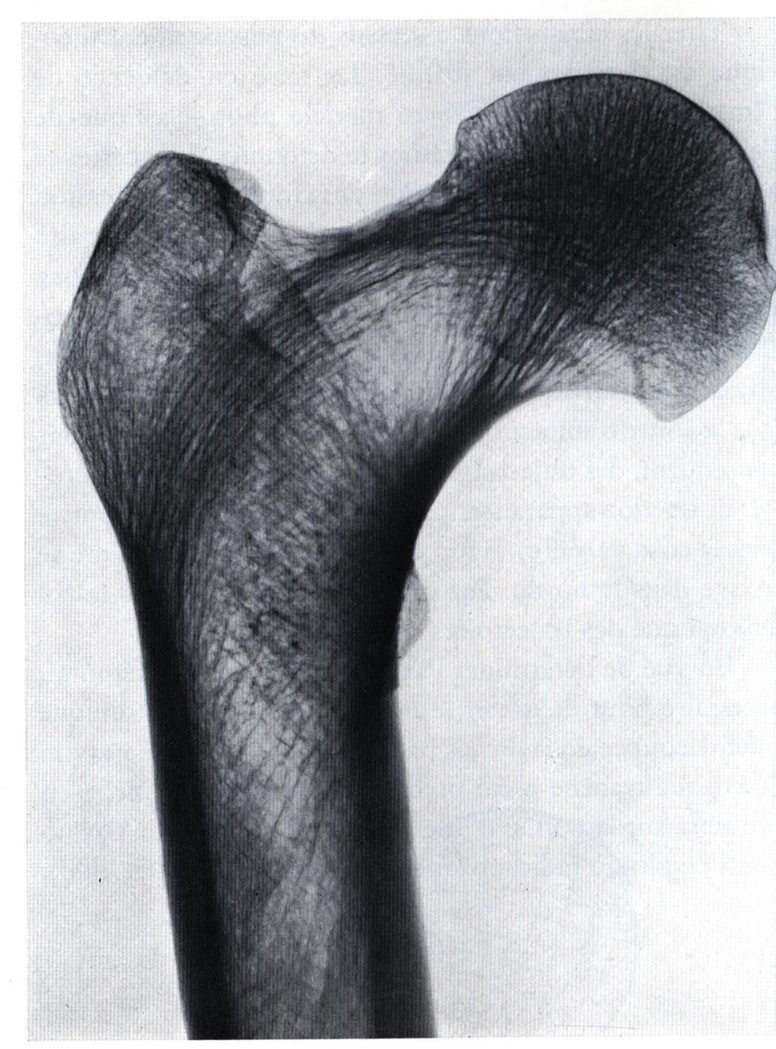


Fig. 41 a–c

L'architecture spongieuse qui apparaît sur la radiographie de pièces anatomiques de l'extrémité supérieure du fémur présente une concordance complète entre les travées principales d'une part, les images trajectorielles fournies par la théorie et par la photo-élasticité d'autre part. Lorsque l'angle cervico-diaphysaire est normal (fig. 41a) et dans la coxa vara (fig. 41b), la radiographie de l'extrémité supérieure du fémur met en évidence deux faisceaux de travées osseuses entièrement différents, bien reconnaissables. Ils entourent le triangle de *Ward*.

1. Des travées descendent de la périphérie de la tête fémorale vers la corticale médiale, en suivant la direction de la force de compression résultante, comme les trajectoires de compression calculées par la théorie et observées en photo-élasticité (fig. 42a, traits rouges).

2. Un faisceau de travées monte de la corticale latérale vers la corticale médiale en suivant un trajet arciforme, comme les trajectoires de traction fournies par la théorie (fig. 42a, traits verts). Dans la coxa vara, ces travées arciformes sont plus prononcées car les contraintes de traction y sont plus élevées que dans une hanche à angle cervico-diaphysaire normal.

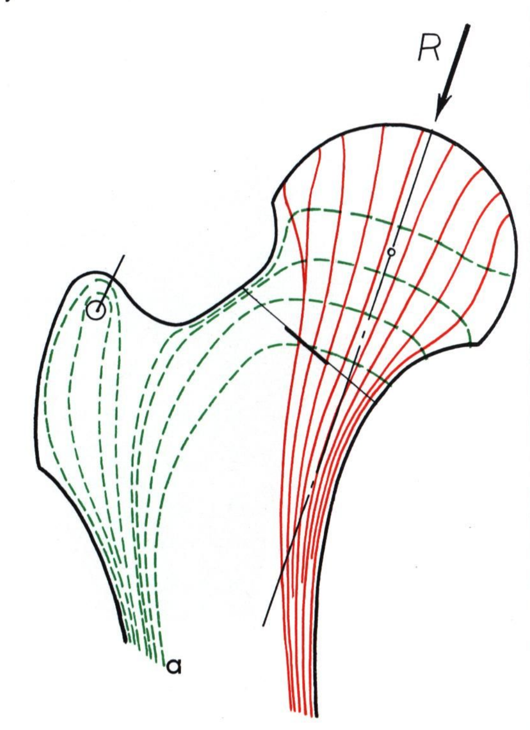
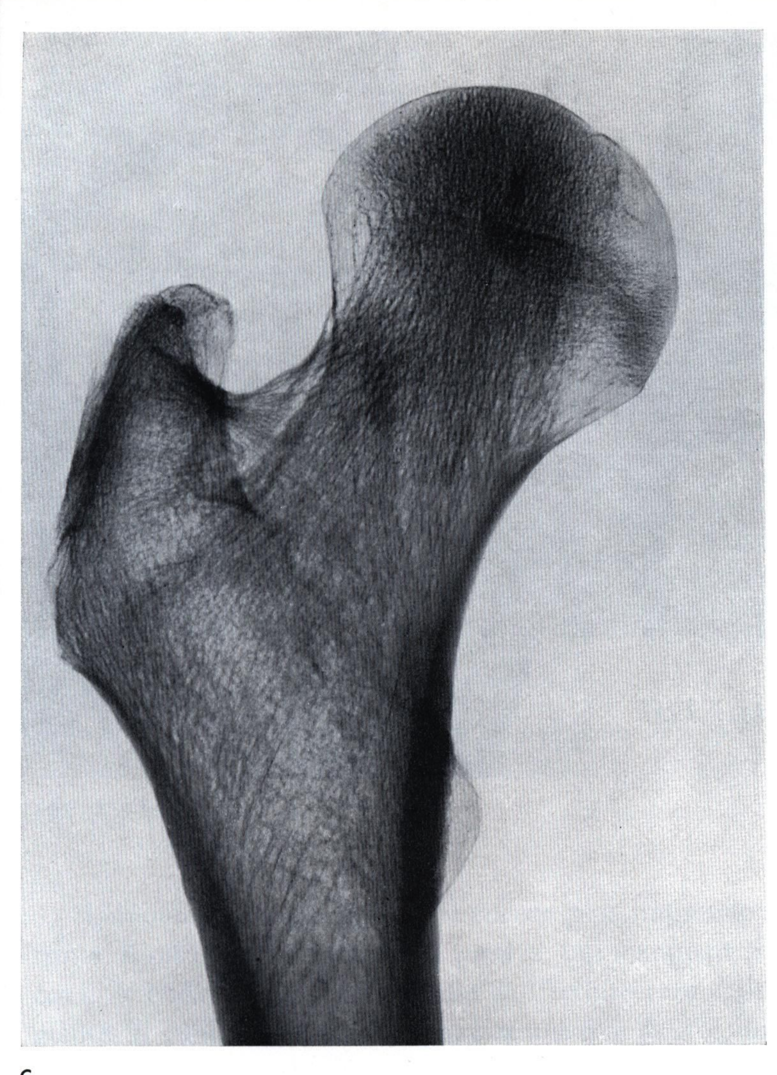
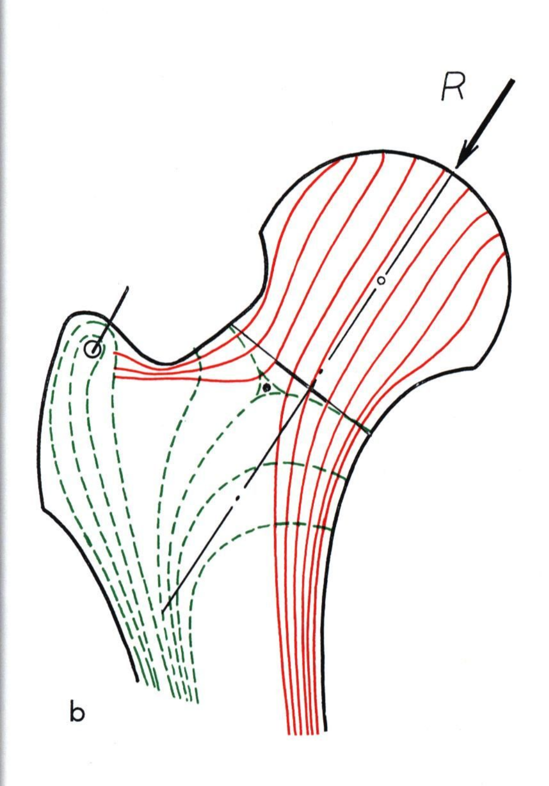


Fig. 42a et b



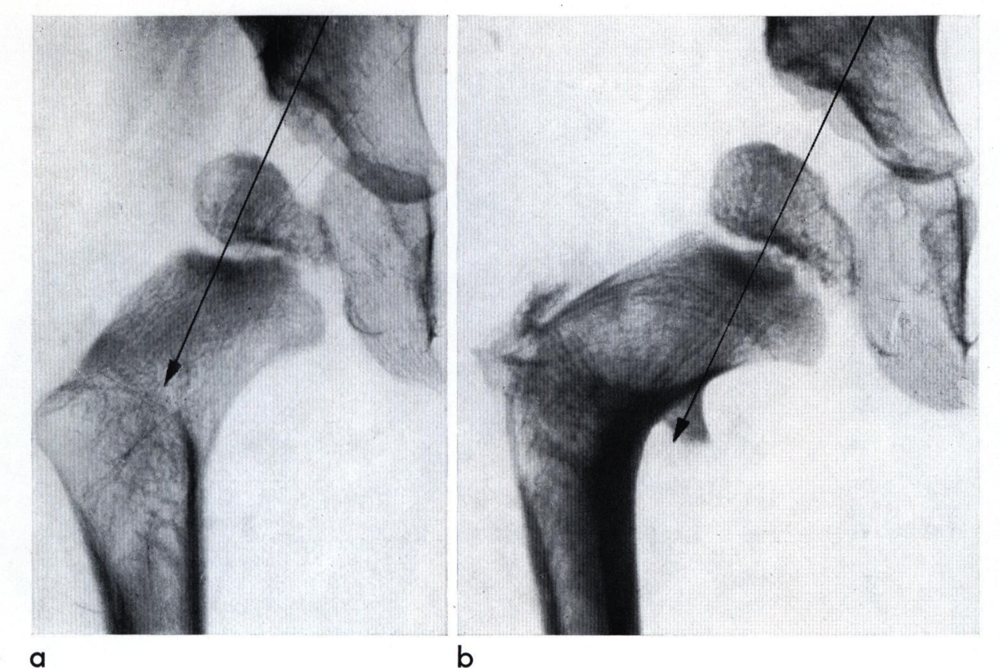
c



b

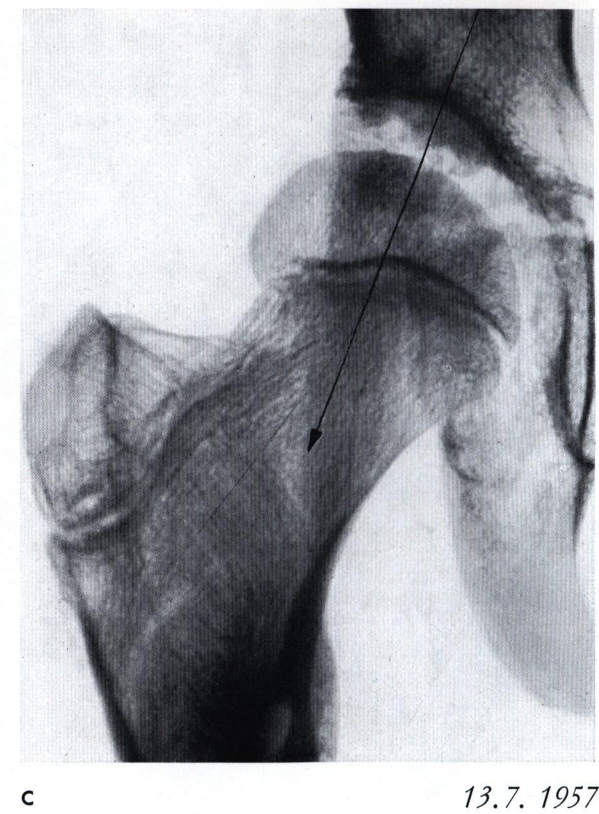
Sur la radiographie de la coxa valga (fig. 41c) au contraire, tout le col fémoral est rempli de travées, toutes dirigées vers le bas, dans la direction de la force de compression résultante, comme les trajectoires de compression obtenues par la théorie et par la photo-élasticité (fig. 42b, traits rouges). Il n'y a pas de faisceau de travées arciformes exprimant les trajectoires de traction et, par conséquent, pas de triangle de *Ward*.

Pour deux types de sollicitation fondamentalement différents, les faisceaux principaux de travées spongieuses coïncident bien avec l'image trajectorielle déduite de la théorie ainsi que de l'étude en photo-élasticité. Cette concordance frappante prouve, entre autres, que le tissu spongieux de l'extrémité supérieure du fémur présente une architecture trajectorielle. Depuis cent ans que la théorie de la structure trajectorielle de l'os spongieux a été avancée, la preuve n'avait pu en être apportée et les objections soulevées contre elle jusqu'à ces derniers temps par des théoriciens et des anatomistes renommés n'avaient pu être réfutées.



a
14.8.1950 (à l'âge de 3 ans et 8 mois)

b
18.7.1951



c
13.7. 1957

Fig. 43a–c. *R.R., ♀, Opération le 7.9.1950*

R

R

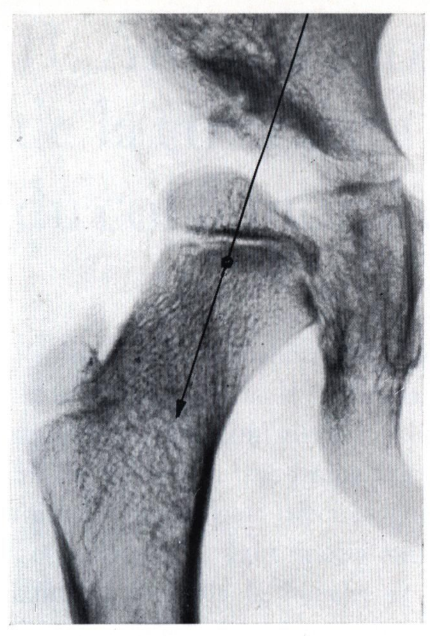
R

a

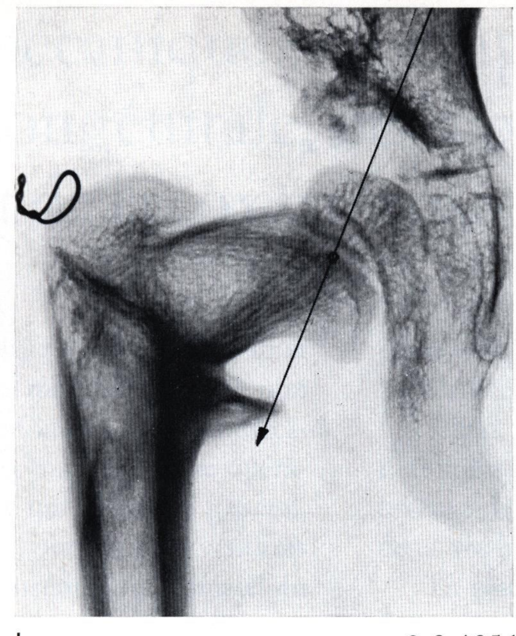
b

c

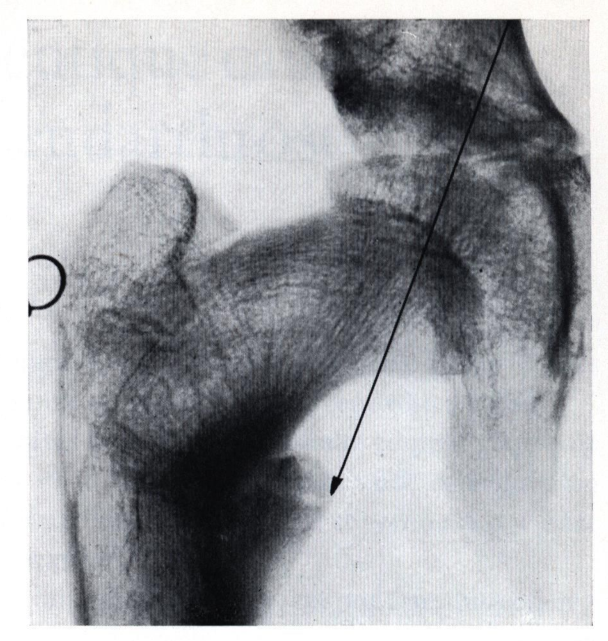
Fig. 44a–c



a *19.1.1955 (à l'âge de 5 ans)*



b *8.9.1956*



c *11.10.1961*

Fig. 45a–c. *M.R., ♀, Opération le 8.3.1956*

L'évolution du cas fig. 43 est encore plus impressionnante. Il offre en même temps la preuve, qui manquait encore, de l'adaptation fonctionnelle de l'architecture spongieuse. Il s'agit d'une coxa valga chez une fille de 3 $^1/_2$ ans (fig. 43a). La force de compression résultante R se trouve dans le noyau de sorte que le col ne subit que des contraintes de compression. Tout le col n'est donc occupé que par des faisceaux de travées qui matérialisent les trajectoires de compression (fig. 44a, rouge).

Après une ostéotomie varisante, la force de compression résultante quitte le noyau de sorte que, outre les contraintes de compression, des contraintes de traction apparaissent aussi dans le col. Un an après la varisation, la radiographie le montre (fig. 43b), des faisceaux de travées arciformes se sont développés, matérialisant les trajectoires de traction (fig. 44b, vert). Ils entourent le triangle de *Ward*. Ils sont le produit d'une adaptation fonctionnelle à la nouvelle sollicitation.

Sept ans après l'ostéotomie varisante (fig. 43c), le col fémoral s'est redressé. Ce redressement a ramené la force de compression résultante dans le noyau. Par conséquent, le col fémoral ne subit plus que des contraintes de compression pure. De nouveau il est rempli exclusivement de faisceaux de travées qui, correspondant aux trajectoires de compression (fig. 44c, rouge), suivent la direction de la force de compression résultante.

Par contre, dans les cas où la varisation n'est pas suivie d'un redressement spontané du col fémoral (fig. 45), les travées spongieuses arciformes matérialisant les trajectoires de traction persistent.

Cette observation, entre autres, constitue une preuve de la théorie de *Wolff* concernant l'adaptation fonctionnelle du tissu spongieux à un changement de la sollicitation. Jusqu'à présent cette théorie était restée pure hypothèse. Comme le mentionne déjà *Triepel* (1912)[20], *Wolff* (1882)[19] lui-même n'a jamais essayé d'en apporter la preuve. La démonstration qu'a tenté d'en apporter *Roux* (1885)[21] dans une ankylose du genou a été un échec par suite de son analyse erronée des structures osseuses (*Pauwels*, 1954)[22].

L'angle cervico-diaphysaire exerce une influence sur la charge ainsi que sur la qualité et la grandeur de la sollicitation mécanique de l'extrémité supérieure du fémur. Lorsque les contours articulaires sont incongruents, cet angle peut exercer une influence sur la grandeur et la distribution de la pression articulaire. De ces faits découlent les principes d'une thérapeutique causale des trois maladies citées plus haut. Le but d'une telle thérapeutique consiste à restaurer l'equilibre biomécanique perturbé.

Dans les pages suivantes nous étudierons de plus près l'application technique de cette thérapeutique et ses résultats.

19 *Wolff, J.:* Das Gesetz der Transformation der inneren Architektur der Knochen bei pathologischen Veränderungen der äußeren Knochenform. S.-B. Preuß. Akad. Wiss., 22. Sitzg., phys.-math. Kl. (1884).

20 *Triepel, H.:* Spongiosaarchitektur contra Trajektorientheorie. Z. Konstit.-Lehre **8**, 269 (1922).

21 *Roux, W.:* Beschriebung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenksankylose. Arch. Anat. Physiol., Anat. Abt. **9**, 120–158 (1885), dans: Ges. Abh. I, p. 662–722. Leipzig: Engelmann 1895.

22 *Pauwels, F.:* Kritische Überprüfung der Rouxschen Abhandlung: Beschreibung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenksankylose, 5. Beitr. Z. Anat. **117**, 528–552 (1954).

II. Analyse biomécanique et thérapeutique causale de la coxa vara congénitale, de la pseudarthrose du col fémoral et de la coxarthrose

Réaliser sur le squelette des opérations visant à modifier dans un but précis la sollicitation mécanique exige non seulement une connaissance approfondie de la biomécanique mais aussi une préparation et une technique opératoire beaucoup plus précises que ce qui se fait en général. Cette remarque vaut spécialement pour les interventions chirurgicales sur la hanche et l'extrémité proximale du fémur.

L'opération ne peut être préparée de façon satisfaisante que sur dessin. De même, c'est penché sur la planche à dessiner que l'ingénieur développe ses constructions et l'architecte ses bâtiments. L'un et l'autre tracent le plan des travaux, qui sera suivi très exactement lors de l'exécution de ceux-ci.

La préparation graphique de la modification de forme de l'os, nécessaire à un changement de la sollicitation, doit évidemment s'appuyer sur un examen radiographique qui, pour chaque cas, met clairement en évidence toute la situation mécanique. N'importe quelle radiographie ne remplit pas cette condition car l'image radiographique peut se comparer à des ombres chinoises (fig. 46a et b). De ce fait des signes nécessaires au diagnostic peuvent rester cachés.

Ainsi, d'après le chirurgien traitant comme d'après le radiologue, le cliché fig. 47a montrerait une consolidation osseuse de la fracture du col fémoral survenue et enclouée deux ans auparavant.

La réalité, une pseudarthrose, ne put être mise en évidence que par une nouvelle radiographie pris en rotation convenable après examen en scopie (fig. 47b).

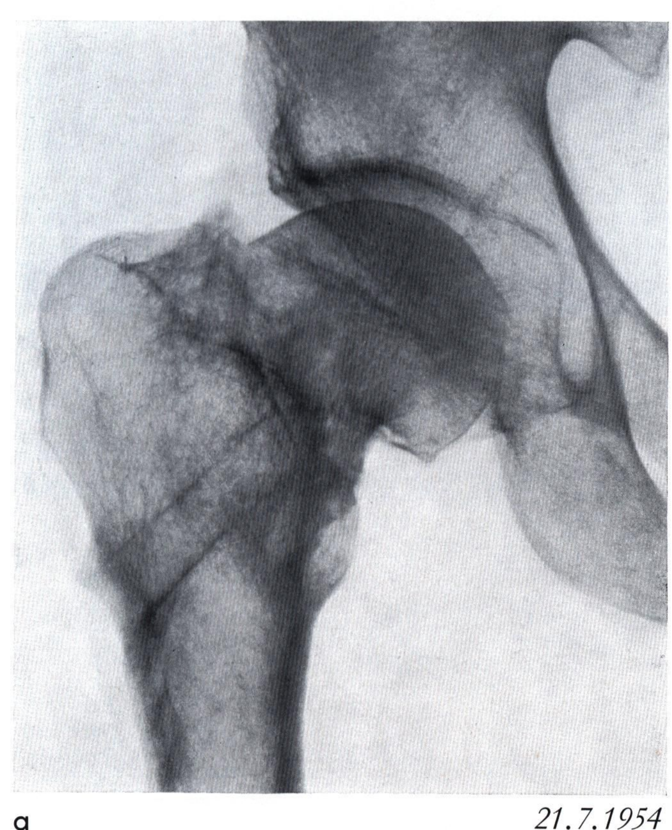


a

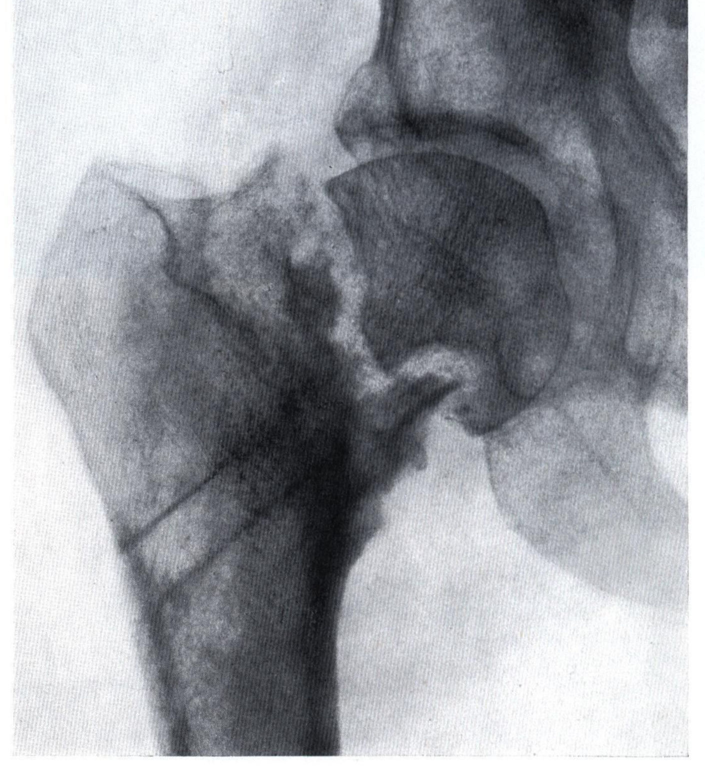


b

Fig. 46a et b



a 21.7.1954



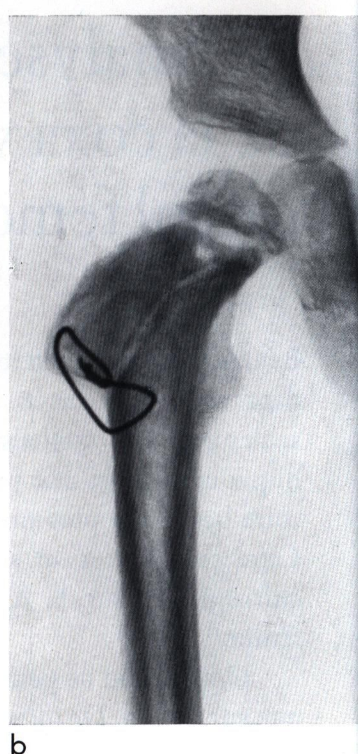
b 21.7.1954

Fig. 47a et b

L'intervention elle-même exige une technique très précise, en particulier chez le jeune enfant (fig. 48a et b). Elle doit s'accompagner de contrôles radiographiques (fig. 49). Les traits de section indiqués dans le dessin opératoire (fig. 48c) sont marqués dans l'os par des broches de Kirschner. Des radiographies contrôlent si leur situation est correcte (fig. 49a et b).

Ces règles fondamentales valent également pour les trois affections qui seront maintenant discutées.


a


b

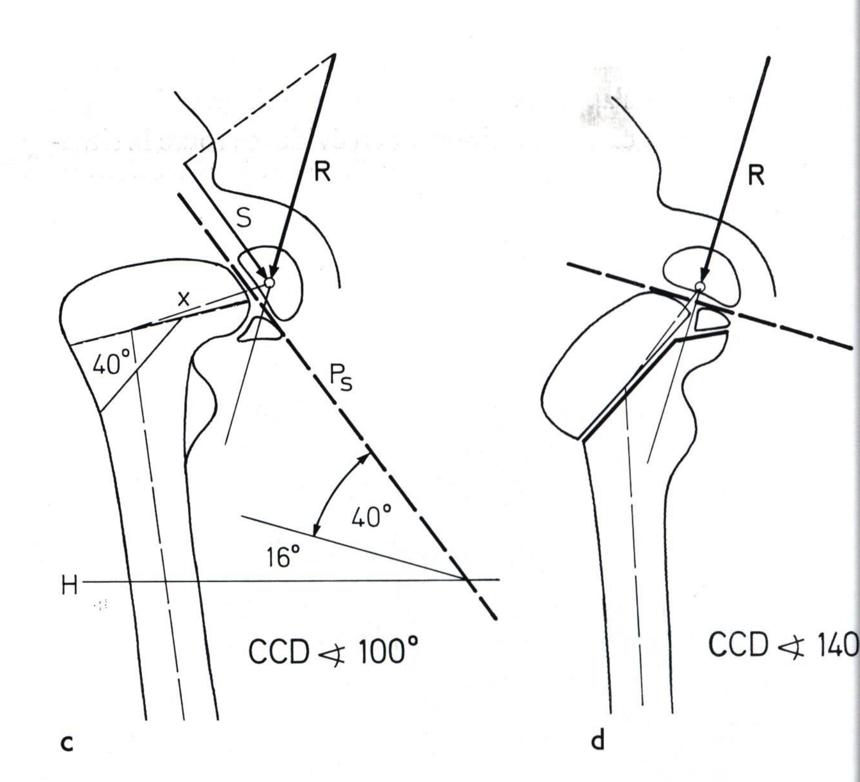


Fig. 48a–d
M.B., ♀, née le 17.1.1950,
Opération le 2.7.1953
(à l'âge de 3 ans et 6 mois)

a

b

c

d

e

f

Fig. 49a–f
Radiographies durant l'opération du 2.7.1953

A. Coxa vara congénitale

1. Remarques concernant la pathologie et la biomécanique

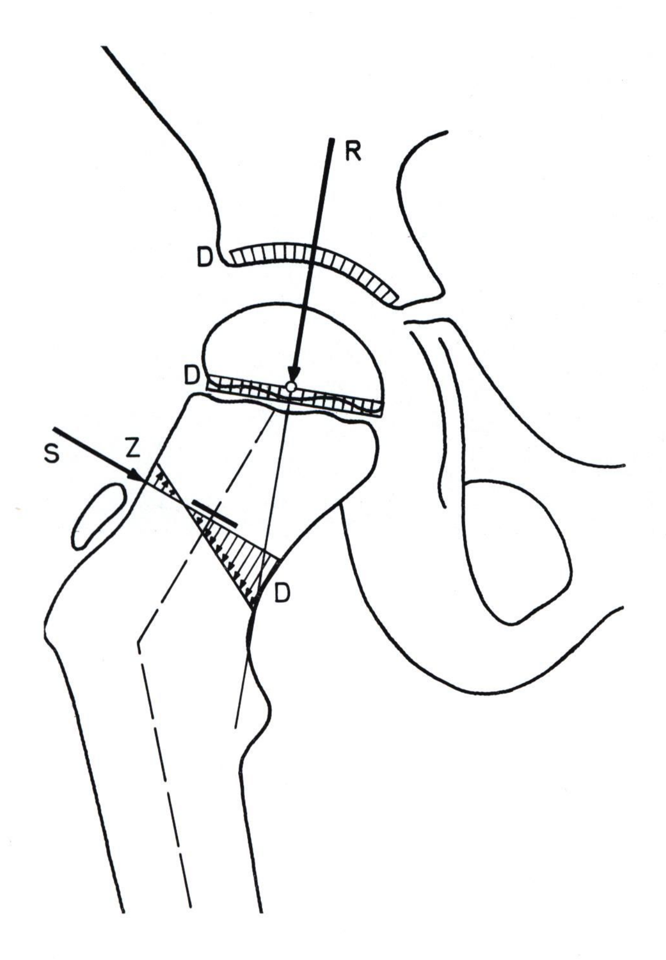
La coxa vara congénitale n'est pas une difformité de naissance au sens propre du mot. N'est congénitale que l'insuffisance mécanique et biologique du col fémoral. Elle dépend d'un trouble plus ou moins prononcé de l'ossification enchondrale et de la croissance en longueur du col.

La difformité est une conséquence purement mécanique du manque de résistance du col à sa sollicitation mécanique. Elle est due à une déformation passive et à l'action, sur les tissus insuffisants, de la sollicitation mécanique pathologique entraînée par l'inclinaison du col fémoral.

La déformation peut avoir commencé *avant la naissance*, sous l'action des forces qui s'exercent in utero sur le col fémoral. En général elle ne se complète cependant et ne prend son aspect typique qu'après la naissance, sous l'effet de la sollicitation du col fémoral par la force de compression résultante.

Physiologiquement le col fémoral est sollicité en flexion et en cisaillement par la force de compression résultante *R*, dès l'âge le plus tendre. Le diagramme des contraintes fig. 50a met en évidence la sollicitation en flexion. Du côté médial il y a des contraintes de compression (*D*), du côté latéral des contraintes de traction (*Z*). Le cisaillement est indiqué par la flèche marquée *S*.

Comme le montre la radiographie (fig. 50b), l'architecture de l'os spongieux du col fémoral est adaptée à ce type de sollicitation (voir aussi page 19). Par contre, tout comme l'articulation, le cartilage épiphysaire supporte une compression (*D*) égale partout parce que la force de compression résultante le croise perpendiculairement en son milieu (fig. 50a et b).



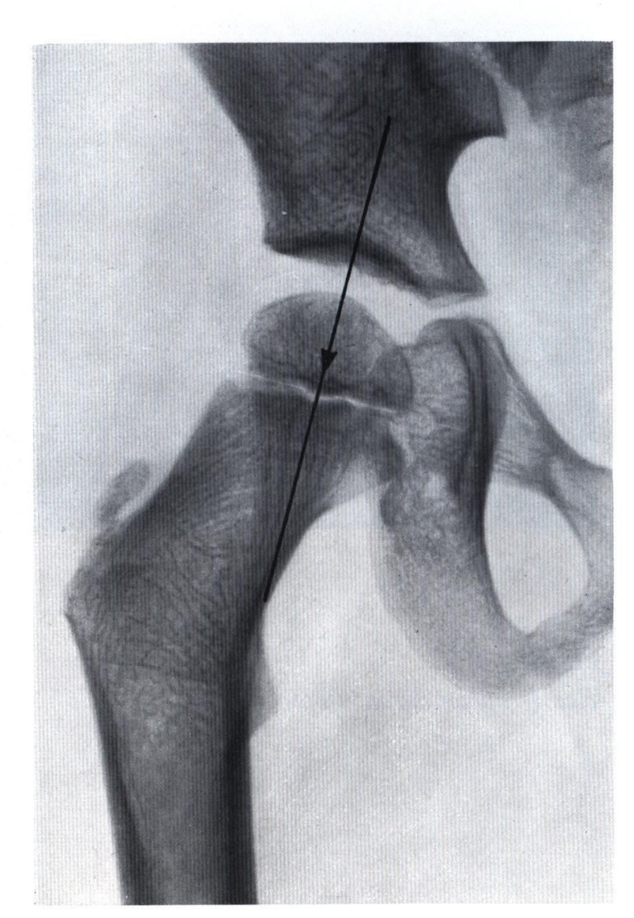


Fig. 50a et b a b

Si la résistance est diminuée par une insuffisance statique congénitale, le col fémoral s'infléchit déjà sous l'effet de sa sollicitation physiologique en flexion. Ceci déclenche un cercle vicieux qui accentue l'inflexion progressive du col. En effet, sous l'effet d'une force de compression excentrique, inflexion et sollicitation en flexion s'aggravent l'une l'autre. Un exemple simple l'illustre. Une charge bien centrée (fig. 51a) provoque une répartition égale des contraintes de compression σ_D dans la coupe de la colonne. Déjà pour une inflexion peu importante de la colonne (fig. 51b), la charge agit au bout d'un bras de levier *h* et les contraintes de compression σ_D deviennent deux fois plus grandes du côté où elle s'exerce (12, pour 6 dans la fig. 51a). L'augmentation de l'inflexion que ceci entraîne allonge le bras de levier *h*. Les contraintes de compression σ_D s'accroissent et, du côté opposé, apparaissent très vite des contraintes de traction σ_Z augmentant elles aussi très rapidement (fig. 51c et d).

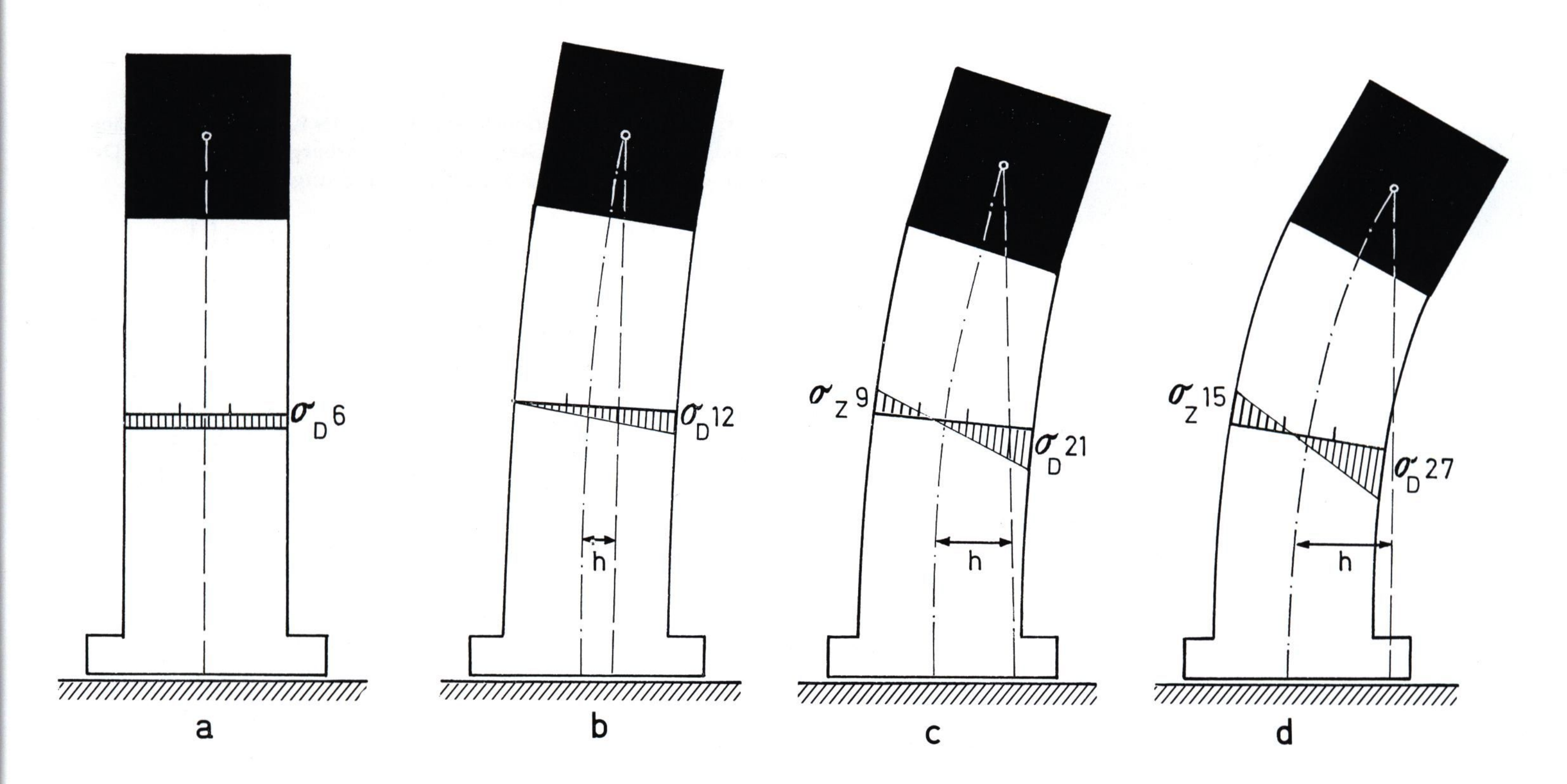


Fig. 51 a–d

Physiologiquement, le cartilage épiphysaire est perpendiculaire à la force de compression résultante *R* (fig. 50 et 52a). A cause de l'inflexion de plus en plus prononcée du col fémoral, il s'incline progressivement par rapport à la force *R* (fig. 52b–d). Par conséquent, dans le col fémoral infléchi, la force de compression résultante (*R*) agit non seulement avec une composante de compression (*D*) mais aussi avec une composante de cisaillement (*S*) de plus en plus grande qui tend à déplacer la tête fémorale vers le bas et en dedans et sollicite ainsi le cartilage épiphysaire en cisaillement.

En outre, à cause de l'inclinaison progressive du cartilage épiphysaire, la force de compression résultante *R* ne croise plus ce cartilage en son milieu mais de plus en plus excentriquement. En effet, dans le jeune âge le centre de rotation de la tête fémorale, par où passe la force de compression, est proximal par rapport au cartilage épiphysaire. De ce fait et en conséquence du glissement progressif en bas et en dedans de la tête fémorale dû à la composante de cisaillement, le cartilage épiphysaire est sollicité de plus en plus fortement en flexion par l'inclinaison du col fémoral. Ceci y accroît rapidement les contraintes de traction *Z* dues à la flexion.

Cisaillement et flexion sont deux types de sollicitation pathologiques pour le cartilage épiphysaire. Ils augmentent fortement avec l'inflexion progressive du col fémoral.

Au début de l'inflexion du col fémoral, la sollicitation en flexion du cartilage épiphysaire, surajoutée à celle en compression, est tellement petite qu'elle n'entraîne qu'une augmentation des contraintes de compression (*D*) d'un seul côté de ce cartilage.

Dans un cartilage épiphysaire sain, ceci déclenche une adaptation fonctionnelle par croissance inégale en longueur (*Pauwels*, 1952)[23], avec redressement du col fémoral jusqu'à élimination de la sollicitation en flexion surajoutée et ainsi réduction considérable de la sollicitation mécanique du col. Cette loi est illustrée par l'exemple théorique fig. 53a–d. Soit un matériau qui, comme le cartilage épiphysaire, réagirait à une augmentation unilatérale des contraintes de compression (σ_D) par une augmentation correspondante de sa croissance en longueur. La croissance inégale du «cartilage épiphysaire» persiste jusqu'à ce que le redressement de la partie supérieure du modèle ait ramené à rien le bras de levier *h* de la charge (fig. 53d).

Mais si le col fémoral est insuffisant, il n'y a pas d'adaptation fonctionnelle par croissance inégale en longueur. Dans ce cas, une augmentation unilatérale des contraintes

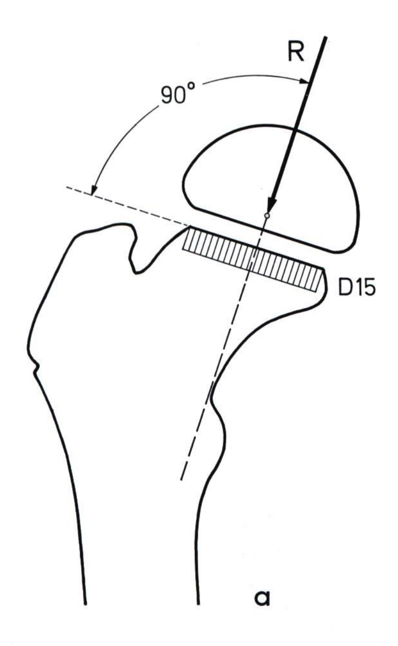
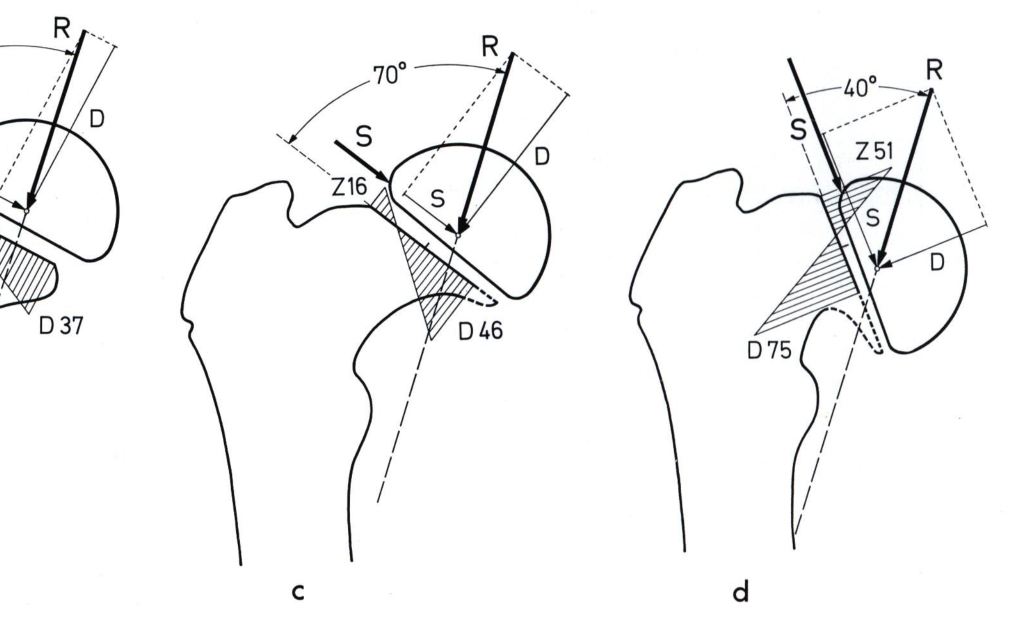


Fig. 52a–d



23 *Pauwels, F.*: Funktionelle Anpassung des Knochens durch Längenwachstum. Verh. Anat. Ges., 50. Vers. Marburg 1952 et Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 45. Kongr. Köln 1957, p. 34. Stuttgart: Enke 1958.

$\sigma_{D\,6}$ $\sigma_{D\,12}$ $\sigma_{D\,2,4}$ $\sigma_{D\,9,6}$ $\sigma_{D\,6}$

a b c d

Fig. 53a–d

de compression (σ_D) accentue au contraire l'inclinaison du cartilage épiphysaire et sa sollicitation en flexion (fig. 53e–h). Le bras de levier *h* de la force fléchissante s'allonge de plus en plus.

Lorsqu'il existe une insuffisance des tissus, le cartilage épiphysaire ne réagit pas à une augmentation des contraintes par une croissance plus importante mais, au contraire, par un ralentissement de sa croissance. Dans le col déjà infléchi, il grandira donc moins en dedans qu'en dehors. En conséquence, l'angle entre cartilage épiphysaire et axe cervical se ferme en bas et en dedans. En d'autres mots, le cartilage épiphysaire bascule en dedans. C'est pourquoi une ostéotomie de redressement destinée à rendre le cartilage épiphysaire perpendiculaire à la force de compression résultante devra ouvrir l'angle cervico-diaphysaire au delà de la normale (voir page 57).

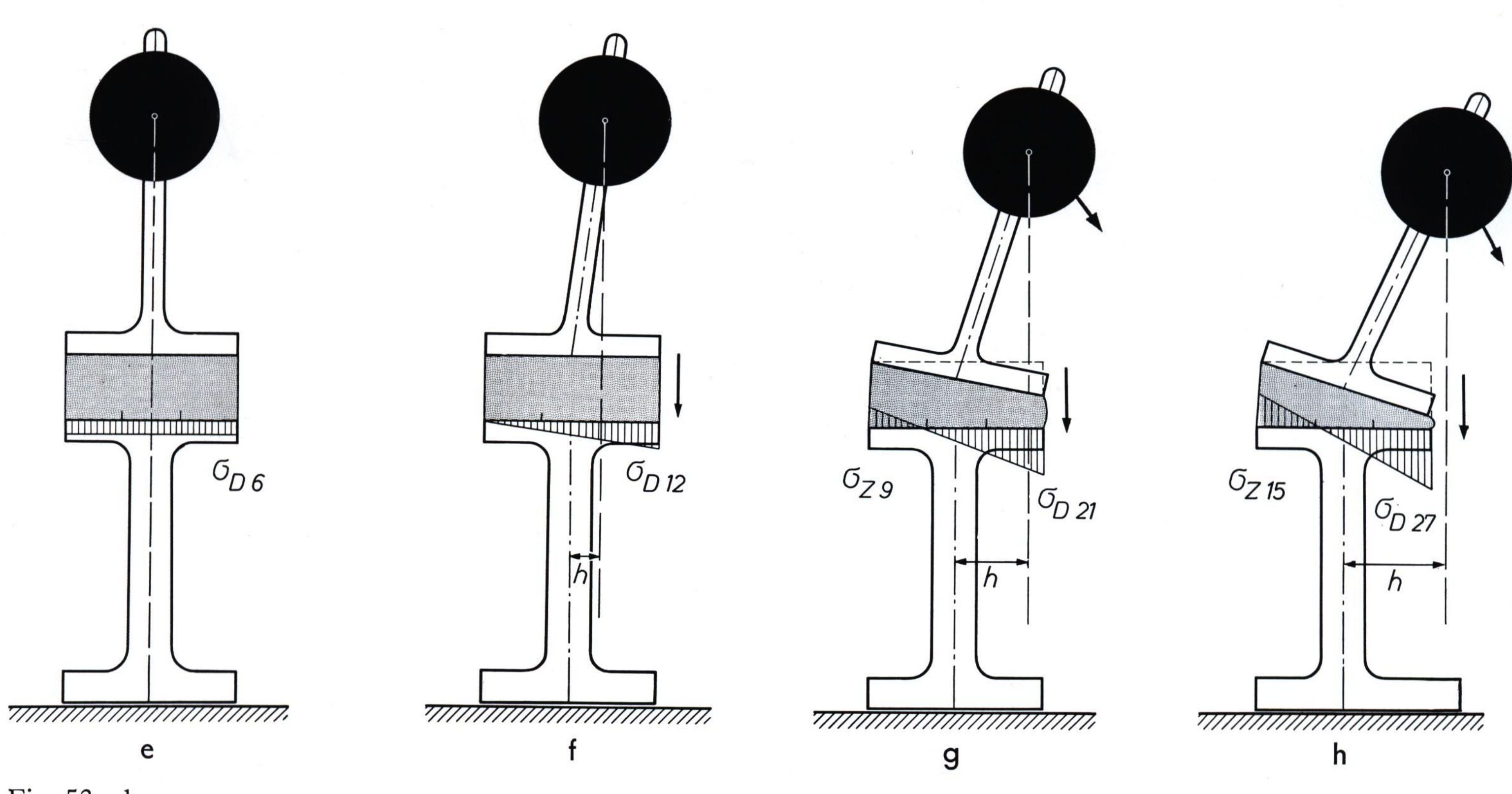


Fig. 53e–h

Les deux types pathologiques de sollicitation du cartilage épiphysaire, cisaillement et flexion, provoqués par l'inclinaison du col fémoral et dont l'intensité augmente continuellement avec l'inflexion du col, exercent, par leur action spécifique sur le tissu insuffisant, une influence décisive sur le développement de la déformation caractéristique.

La composante de cisaillement (*S*) de la force de compression résultante (*R*) tend à faire glisser la tête en bas et en dedans (fig. 54b et c). Les travées calcifiées de substance fondamentale du cartilage épiphysaire (*Kn.B.*) qui se trouvaient auparavant dans la direction de la force de compression résultante (*R*) sont maintenant sollicitées en flexion (fig. 54a) de même que les frêles trabécules spongieuses (*Sp*) qu'elles produisent. Elles subissent ainsi une sollicitation pathologique et trop grande qui doit entraîner leur résorption. C'est certainement la raison du raccourcissement du col fémoral, dû à un ralentissement de la croissance et à une résorption de tissu osseux déjà construit. C'est aussi l'explication de l'effilement de la puissante console médiale qui supporte la tête fémorale (fig. 55).

L'augmentation progressive de la sollicitation en flexion du cartilage épiphysaire, outre une accentuation de l'inflexion cervicale, entraîne l'amincissement de l'extrémité proximale du col (fig. 55a–g). Du côté latéral, où se produisent les plus grandes contraintes de traction provenant de la flexion (fig. 55e), l'amincissement est dû à la résorption de tissu osseux (fig. 55f) ou à la formation d'une encoche d'étirement (fig. 55g); du côté médial, celui des compressions, il provient de la formation d'une zone de résorption à la base de la console fortement effilée qui supporte la tête fémorale. Cette zone apparaît en radiographie comme une fente mince et oblique par rapport au cartilage épiphysaire (fig. 55f et g).

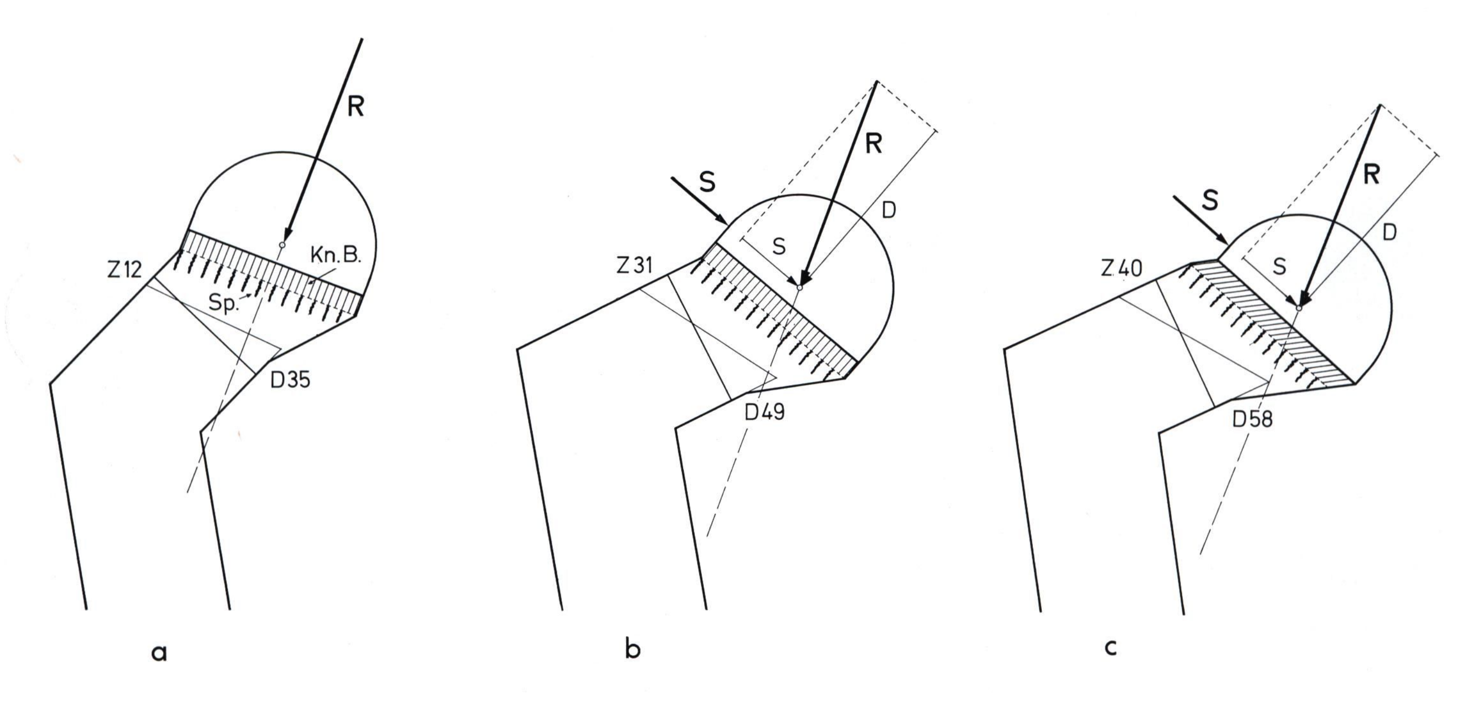


Fig. 54a–c

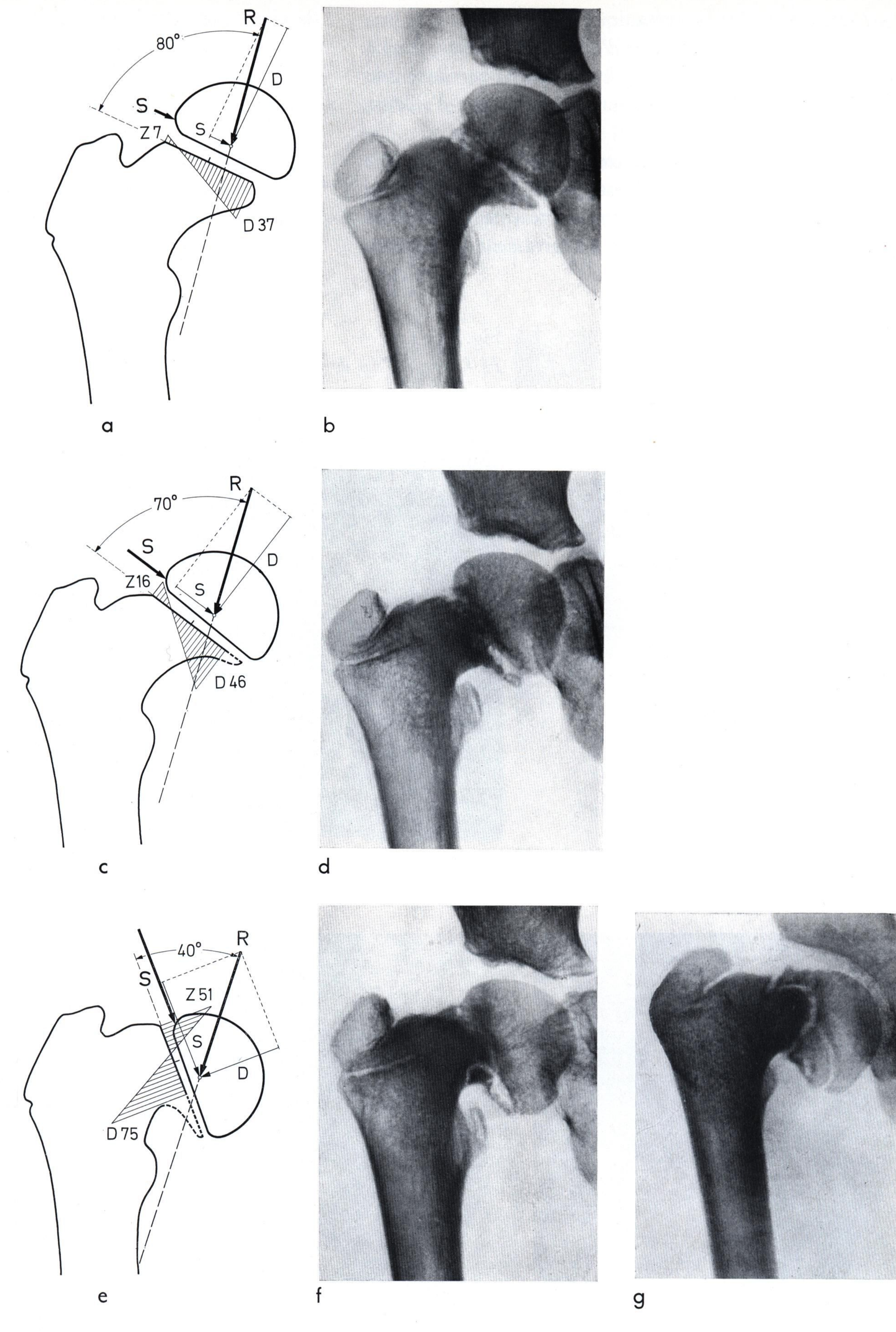


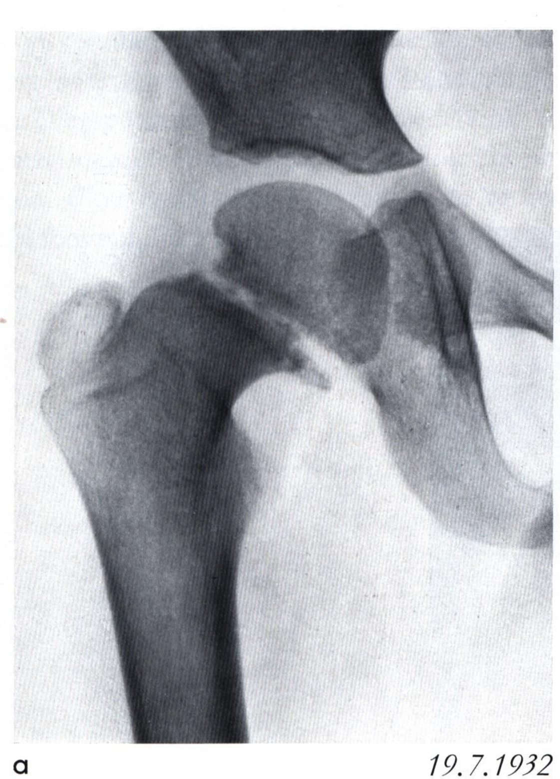
Fig. 55a–g

Cette explication biomécanique de l'évolution de la maladie repose sur l'interprétation d'observations cliniques. Le cas suivant fut particulièrement instructif. Il équivaut à une expérience analytique sur l'homme, non voulue d'ailleurs par le médecin traitant.

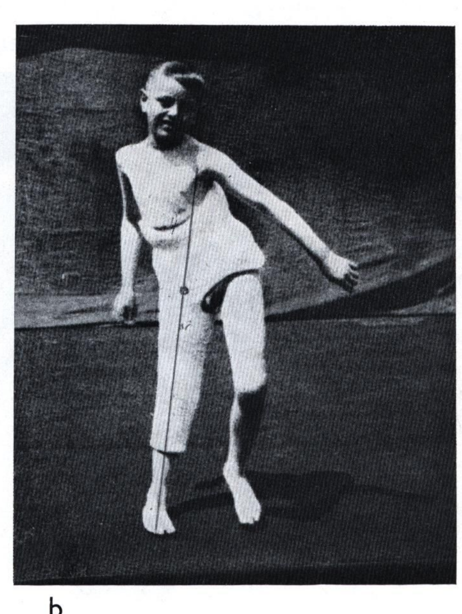
Il s'agissait d'un début de coxa vara congénitale chez un garçon de 7 ans. La col fémoral est légèrement infléchi, raccourci. Son extrémité proximale présente des lacunes (fig. 56a). Le traitement consista exclusivement en un plâtre de marche, du bassin au mollet, maintenant le membre en abduction maximale (fig. 56b), pour imposer une forte boîterie. Celle-ci décharge la hanche d'environ 50% comme le montre la fig. 57 (voir la grandeur de la résultante *R* fig. 57b et d).

La radiographie fig. 56c met en évidence la situation immédiatement après l'enlèvement du plâtre avec lequel l'enfant avait marché 1 an. Le col fémoral s'est allongé d'environ 1 cm et s'est régénéré considérablement. Ce résultat

Fig. 56a–f
H.K., ♂, à l'âge de 7 ans



a *19.7.1932*

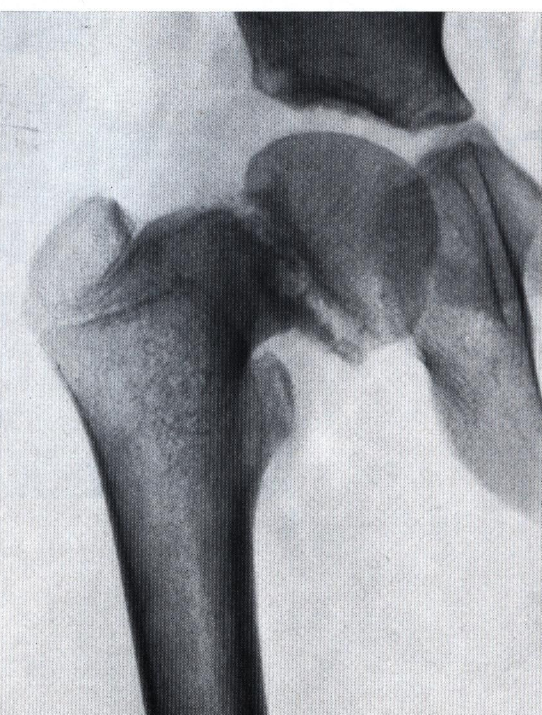


b

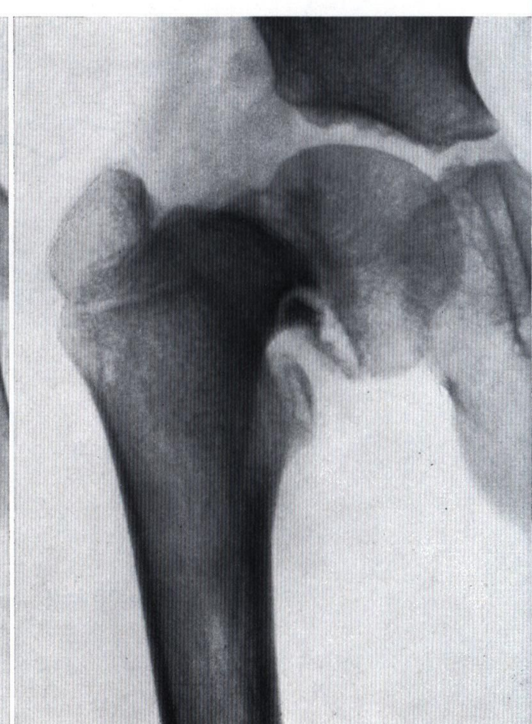


c *27.7.1933*

d *29.11.1933*



e *11.6.1934*

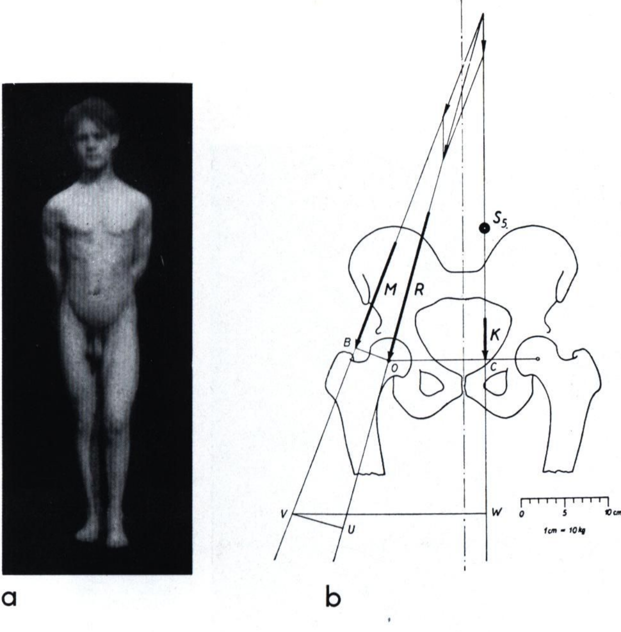


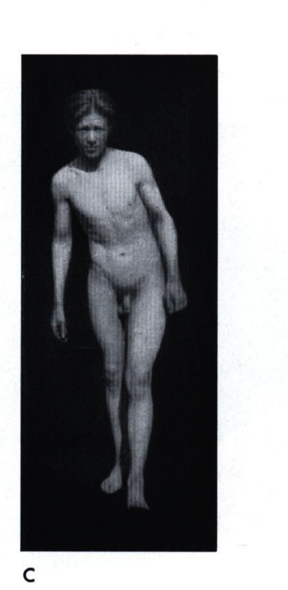
f *17.6.1935*

ne peut être attribué qu'à la décharge partielle. Il montre que du tissu insuffisant a réagi à nouveau de façon normale à une sollicitation réduite en dessous de la normale.

Sur l'exigence du père peu compréhensif, le traitement dut être abandonné définitivement. Il ne me resta que la possibilité de suivre l'évolution radiologique, grâce à l'assistante sociale.

Le cliché pris 4 mois après l'enlèvement du plâtre de marche (fig. 56d) indique que la reconstruction du col, obtenue par la décharge, a partiellement régressé sous la reprise de la sollicitation normale. Comme le montrent les deux radiographies suivantes, à intervalle de 6 mois (fig. 56e) puis d'un an (fig. 56f), l'inflexion du col fémoral et son raccourcissement ont progressé et la tête fémorale a continué à glisser vers le bas. Le dernier cliché (fig. 56f) permet de reconnaître un rétrécissement de la partie proximale du col fémoral par résorption de matériau du côté latéral, où s'exercent les plus grandes contraintes de traction dues à la flexion, et, du côté médial, par une zone de résorption divisant à sa base la console fortement amincie qui supporte la tête fémorale.





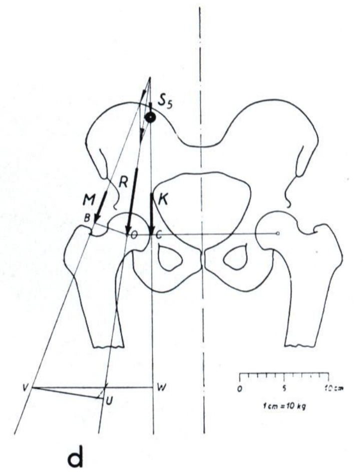


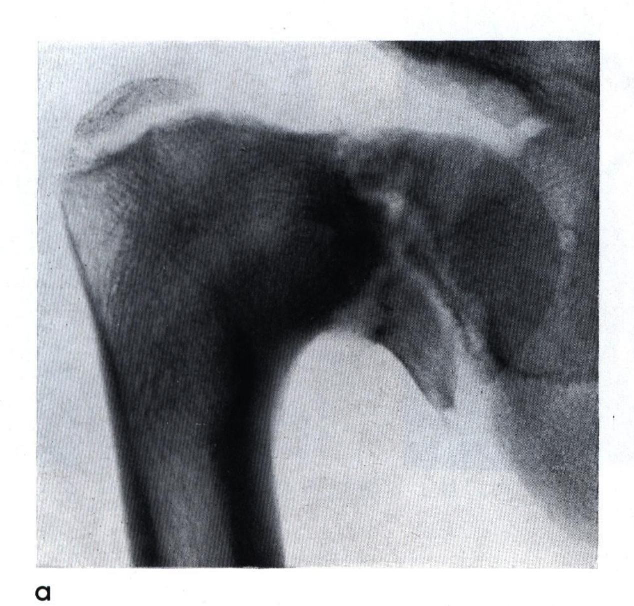
Fig. 57a–d

Cette fente n'est pas une branche d'un cartilage épiphysaire en Y, contrairement à ce qui a été accepté à tort jusqu'il y a peu. Il s'agit sans aucun doute d'une zone de résorption d'origine mécanique. Une recherche photo-élastique sur un modèle en matière plastique a permis de le prouver (fig. 58). Le nombre d'ordre des isochromes montre que la fente vue en radiographie (fig. 58a) se trouve exactement à l'endroit où les contraintes maximales se produisent dans le modèle (fig. 58b).

En bref, l'analyse le montre, le développement de la déformation caractéristique constitue un processus compliqué déclenché par le fait que, à cause de son insuffisance statique, le col fémoral s'infléchit sous l'effet de sa sollicitation physiologique en flexion. L'inflexion crée un cercle vicieux. En effet :

1. une fois induite, l'inflexion du col fémoral constitue elle-même la cause de sa propre progression.

2. le cartilage épiphysaire s'incline par rapport à la force de compression résultante. Ceci entraîne deux types de sollicitation qui, pour lui, sont pathologiques : cisaillement et flexion. Ils augmentent avec l'inflexion progressive du col fémoral. Leur action spécifique sur le tissu insuffisant fait que, si l'insuffisance du col fémoral est très prononcée, la déformation caractéristique peut s'aggraver jusqu'à ce que la tête fémorale ait trouvé appui sur le petit trochanter (59c) ou jusqu'à ce que le grand trochanter bute contre le bassin (59d et e).



a



b

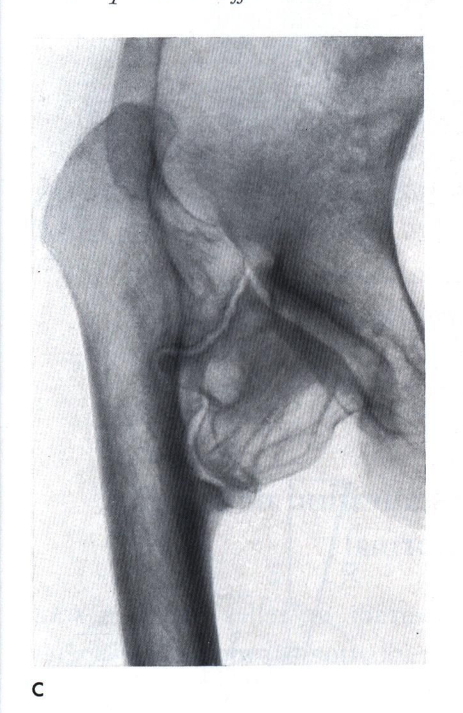
Fig. 58a et b

Durant la croissance, cette évolution peut en principe, bien que rarement, s'arrêter à chaque stade de la déformation et permettre la guérison sans traitement, aussi longtemps qu'elle n'est pas arrivée au stade de la pseudarthrose (fig. 60a et b).

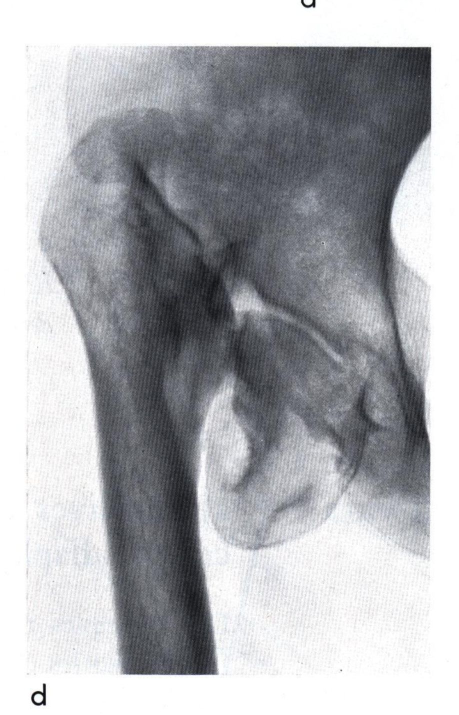
Fig. 59 a–e
Différents stades de la coxa vara congénitale chez 5 patients différents

a

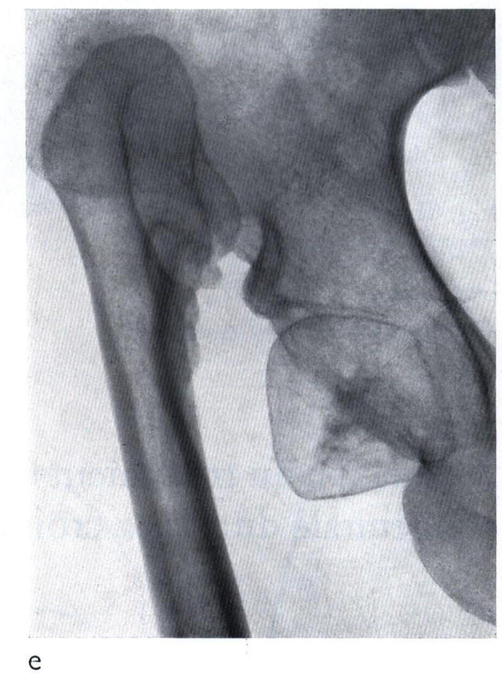
b



c



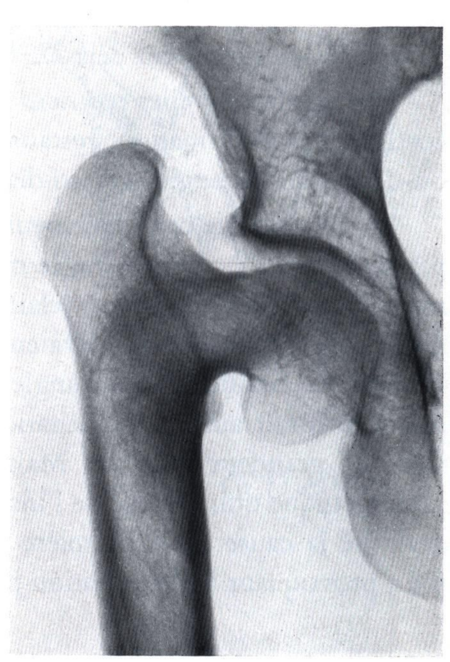
d



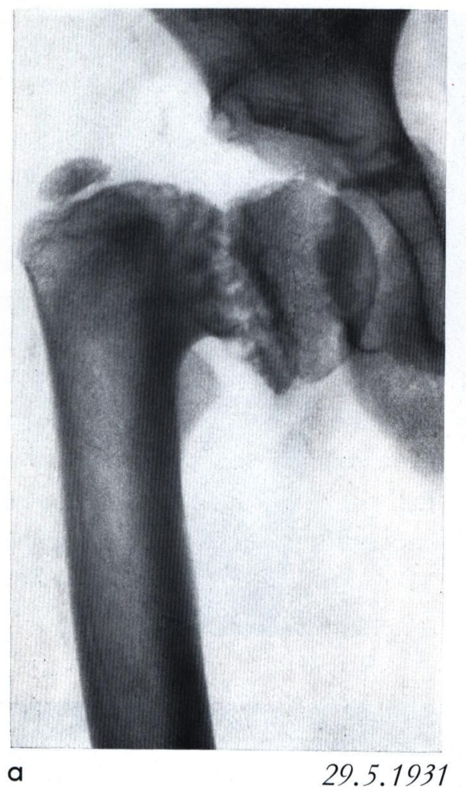
e

Fig. 60 a et b
Guérison spontanée de la coxa vara congénitale à différents stades

a



b



a 29.5.1931



b 23.7.1931



c 20.7.1936

Récidive après restauration de la forme anatomique

Fig. 61 a–e
J.M., ♂, né le 11.3.1925, Opération le 10.6.1931 (à l'âge de 6 ans et 3 mois)

2. Principe du traitement de la coxa vara congénitale durant la croissance

De nombreuses méthodes de traitement ont été proposées pour la coxa vara congénitale. Au congrès d'Orthopédie de 1929, *Pitzen* en recensait déjà 22.[24]

Essentiellement elles reposent sur le même principe: en corrigeant la déformation, restaurer la forme anatomique, c-à-d. rétablir un angle cervico-diaphysaire normal.

Les résultats de cette thérapeutique ont été pour la plupart décevants. Actuellement, le mécanisme du développement de la déformation étant éclairci, on comprend que des résultats initialement bons devaient être suivis de récidives. En effet, la restauration d'un angle cervico-diaphysaire normal rétablissait aussi la sollicitation physiologique en flexion, de grandeur normale. Mais c'est cette sollicitation physiologique qui, à cause de l'insuffisance du col fémoral, avait été la cause de la première inflexion, celle-ci, à son tour, provoquant la déformation progressive.

a) Récidives après restauration de l'angle cervico-diaphysaire normal

Des exemples typiques illustrant de telles récidives sont fournis par les deux cas suivants que j'ai moi-même opérés en 1931 et 1932 suivant le principe du rétablissement de la forme anatomique.

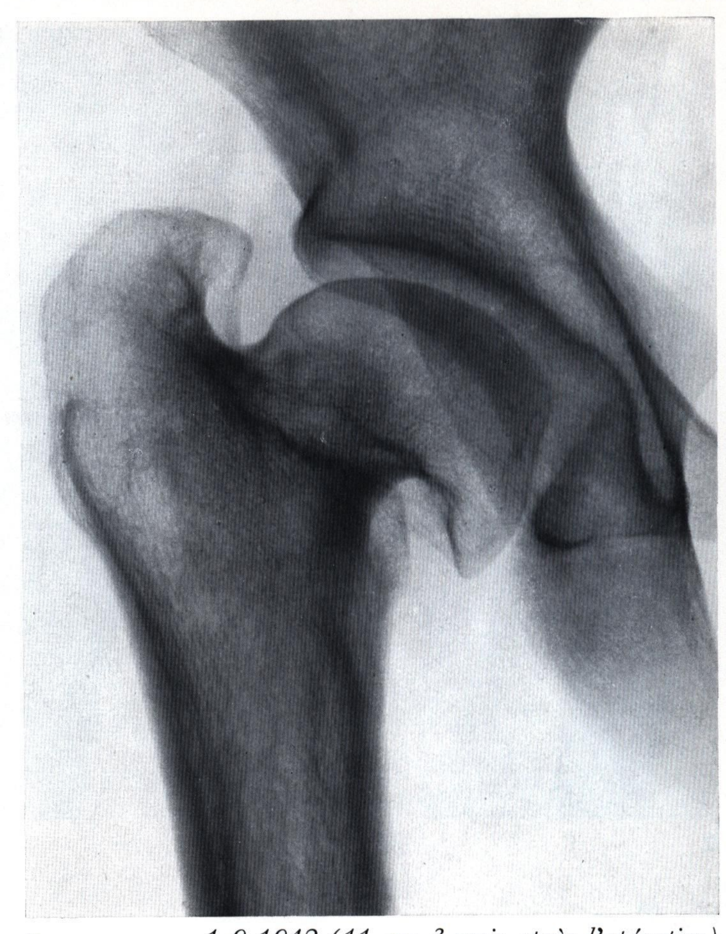
Il s'agit de deux garçons de 6 ans dont les radiographies montrent l'image typique de la coxa vara congénitale arrivée à un même stade de développement (fig. 61a et 63a). Chez les deux patients, une ostéotomie intertrochantérienne avec résection d'un coin restaura un angle cervico-diaphysaire normal de 130° (fig. 61b et 63b).

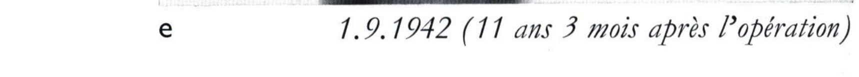
Selon les principes discutés plus haut, dans les deux cas un bon résultat initial devait être suvi d'une récidive ultérieure (fig. 61c–e et 63c). Comme le montrent les diagrammes des contraintes fig. 62 et 64, la restauration d'un angle cervico-diaphysaire normal ne réduisit la sollicitation en flexion du col fémoral qu'à sa grandeur normale. Elle ne pouvait donc pas supprimer la sollicitation exagérée pour le tissu insuffisant.

24 *Pitzen, P.:* Die Behandlung der Coxa vara. Beilageheft Z. orthop. Chir. **24**, 39–58 (1929).



d *11.7.1938*





e *1.9.1942 (11 ans 3 mois après l'opération)*

S R Z h D 50°
CCD ∢ 80°
a

R Z S h D
CCD ∢ 130°
b

R Z S D
CCD ∢ 95°
c

Fig. 62a–c

a *21.1.1932* b *12.12.1932* c *12.7.1939 (7 ans 5 mois après l'opération)*

Fig. 63a–c
W.K., ♂, né en 1926,
Opération le 1.2.1932
(à l'âge de 6 ans)

Récidive après restauration
de la forme anatomique

S R Z h D 55° CCD ∢ 75° a

R Z S h D CCD ∢ 130° b

R Z S h D CCD ∢ 100° c

Fig. 64a–c

b) Résultat durable par adaptation de la sollicitation mécanique à l'insuffisance tissulaire

Dans la coxa vara congénitale, un résultat durable ne peut être atteint qu'en adaptant la grandeur et la qualité de la sollicitation mécanique à l'insuffisance du col fémoral.

Pour y arriver, il faut:
1. réduire la sollicitation en flexion du col fémoral très en deçà de sa grandeur normale.
2. transformer la sollicitation en cisaillement du cartilage épiphysaire, due à la déformation, en une sollicitation physiologique en compression pure.

Ces deux exigences sont satisfaites simultanément par l'ostéotomie en Y que j'ai décrite en 1935[25] (fig. 65).

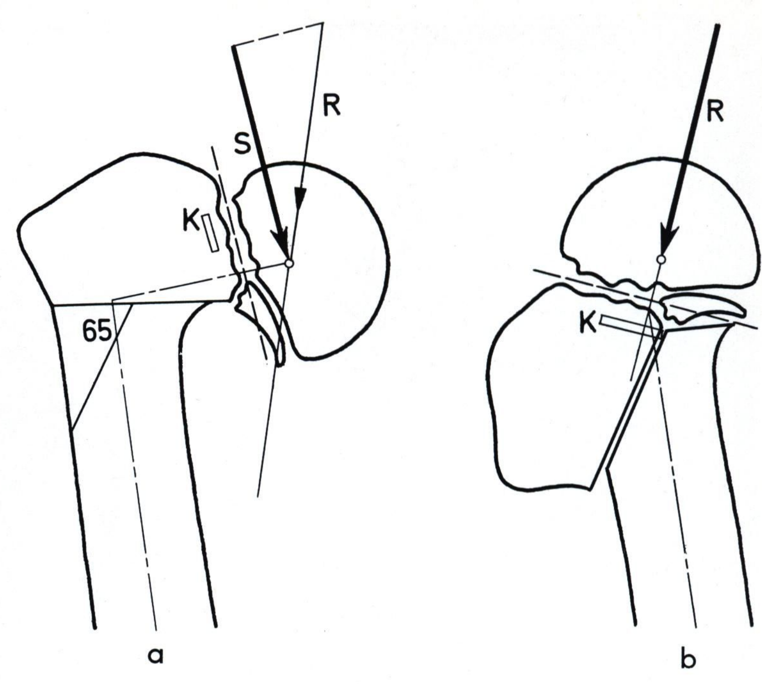


Fig. 65a et b

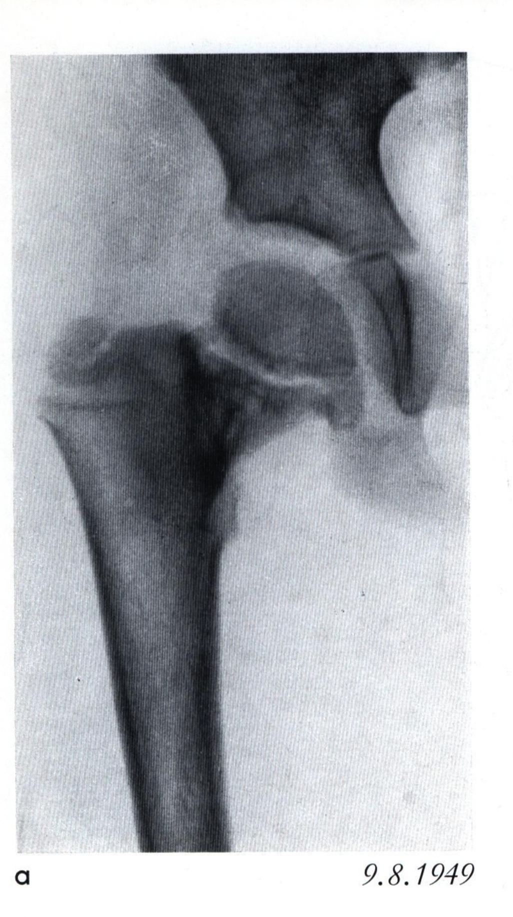
25 *Pauwels, F.:* Zur Therapie der kindlichen Coxa vara. Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 30. Kongr. Köln 1935, p. 372–387. Stuttgart: Enke 1936.

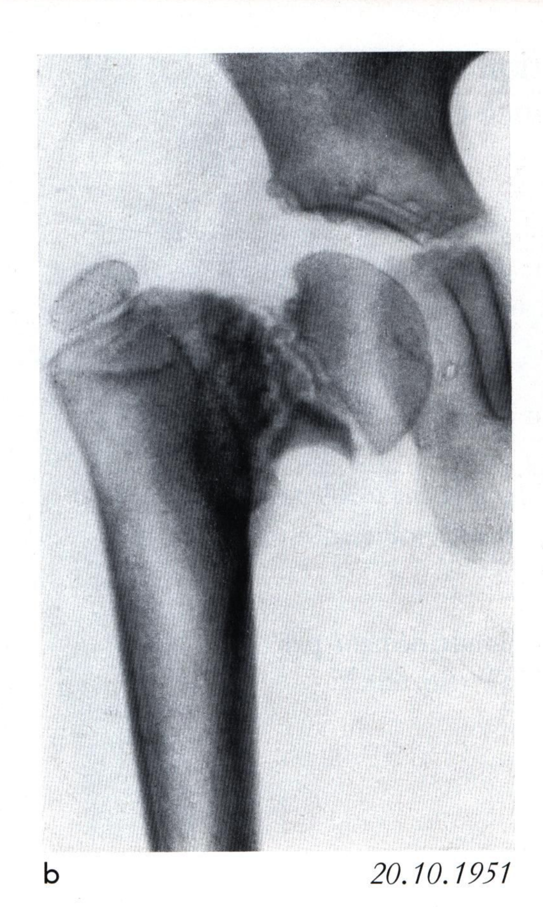
3. L'ostéotomie en Y comme traitement causal

a) Définition et mode d'action

L'opération consiste, grâce à une ostéotomie en forme d'Y, à réséquer un coin intertrochantérien exactement mesuré (fig. 65a) de façon à rendre le cartilage épiphysaire perpendiculaire à la force de compression résultante et en même temps à élargir l'extrémité proximale du col fémoral par le fragment diaphysaire.

L'effet de l'ostéotomie en Y sur la sollicitation de la coxa vara congénitale s'observe sur les images radiographiques 66c–e et sur les dessins représentant graphiquement ce cas (fig. 67a–c).


a 9.8.1949


b 20.10.1951

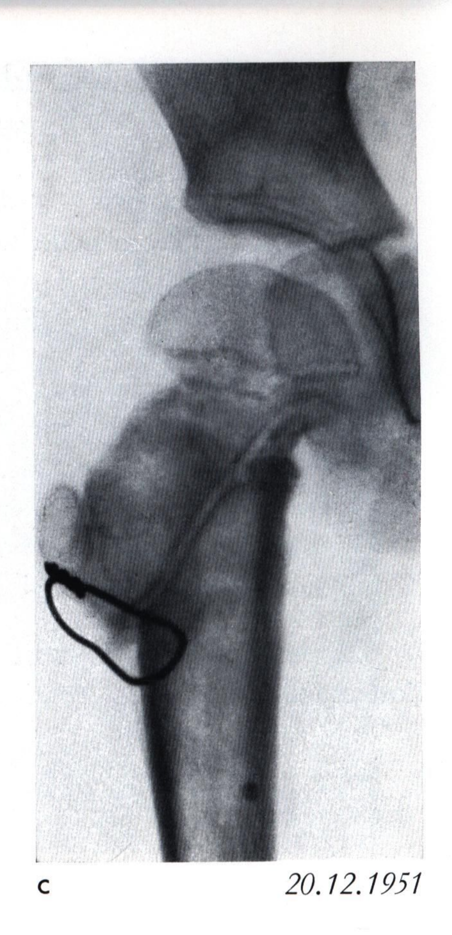
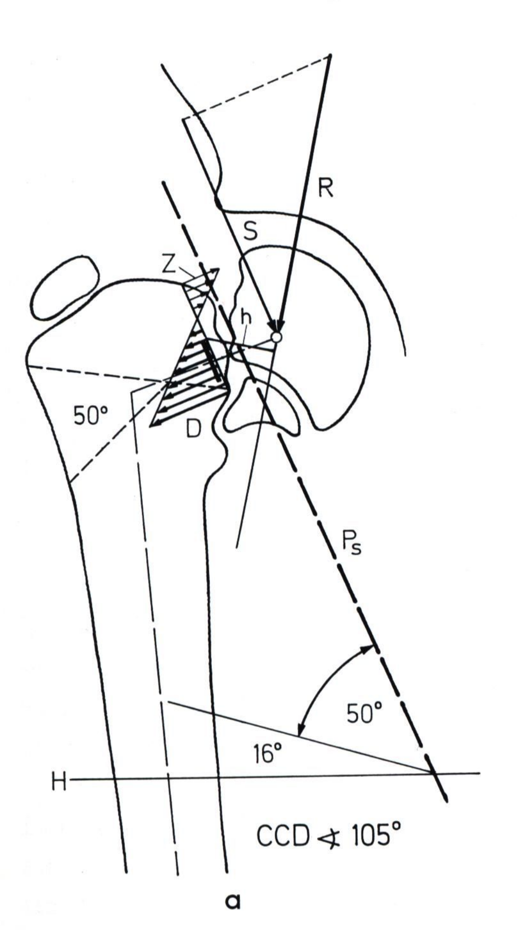
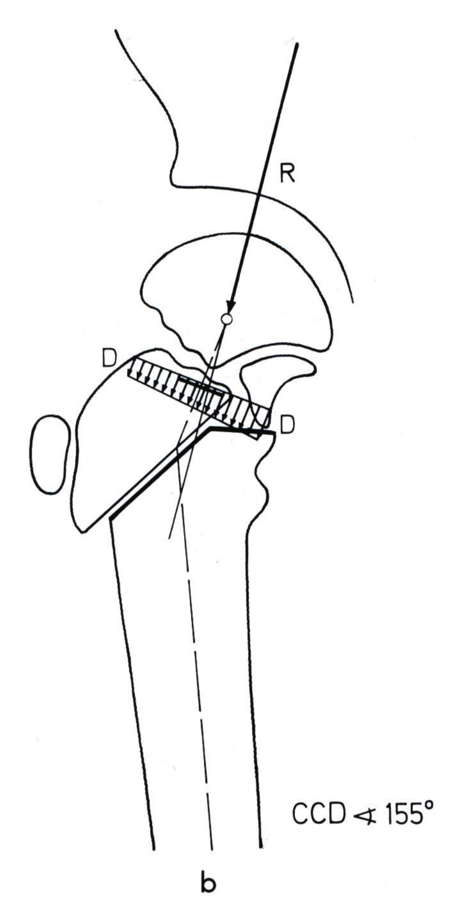

c 20.12.1951

Fig. 66a–e
J.B., ♂, né le 2.1.1945,
Opération le 25.10.1951 (à l'âge de 6 ans et 10 mois)
Résultat durable par restauration de l'équilibre biomécanique





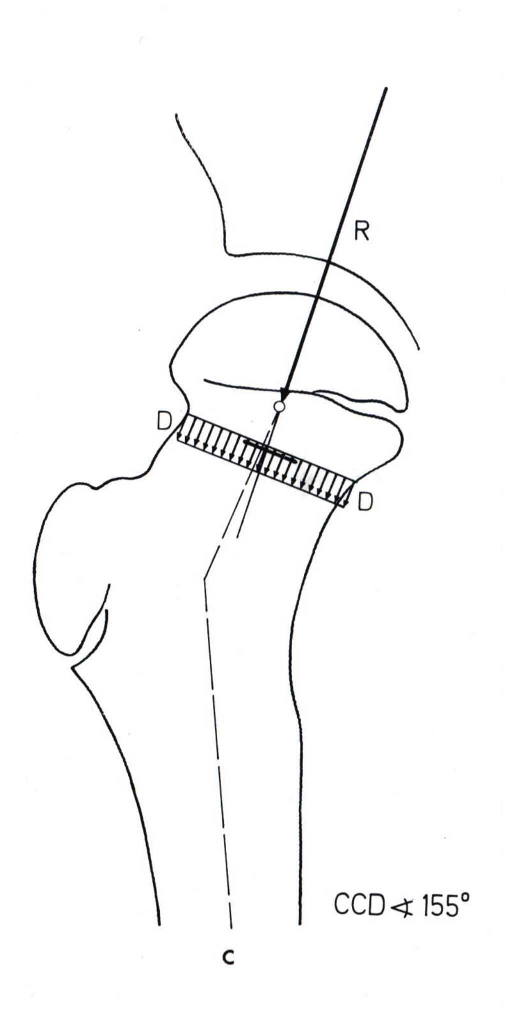
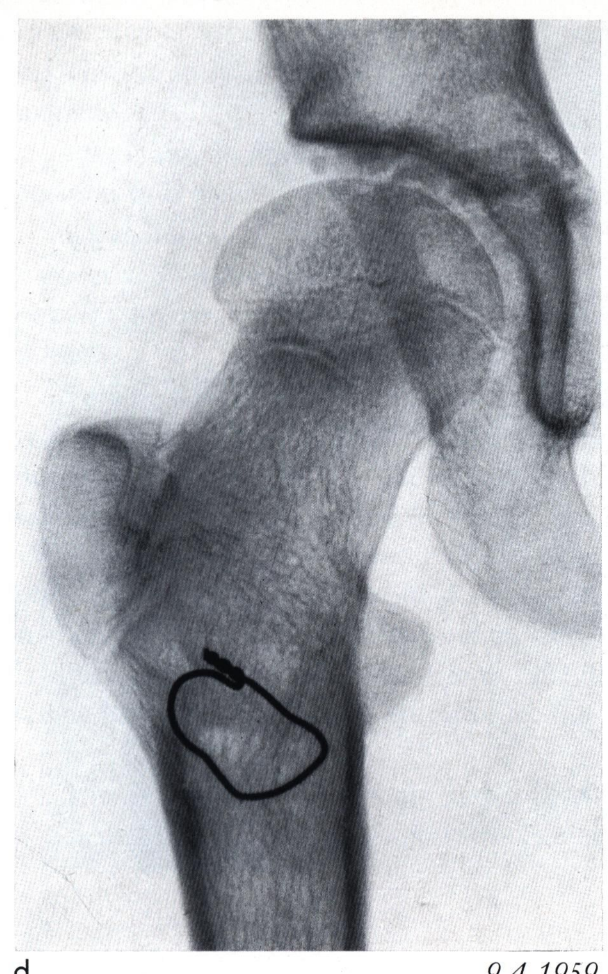
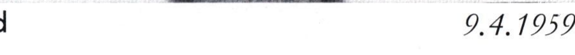
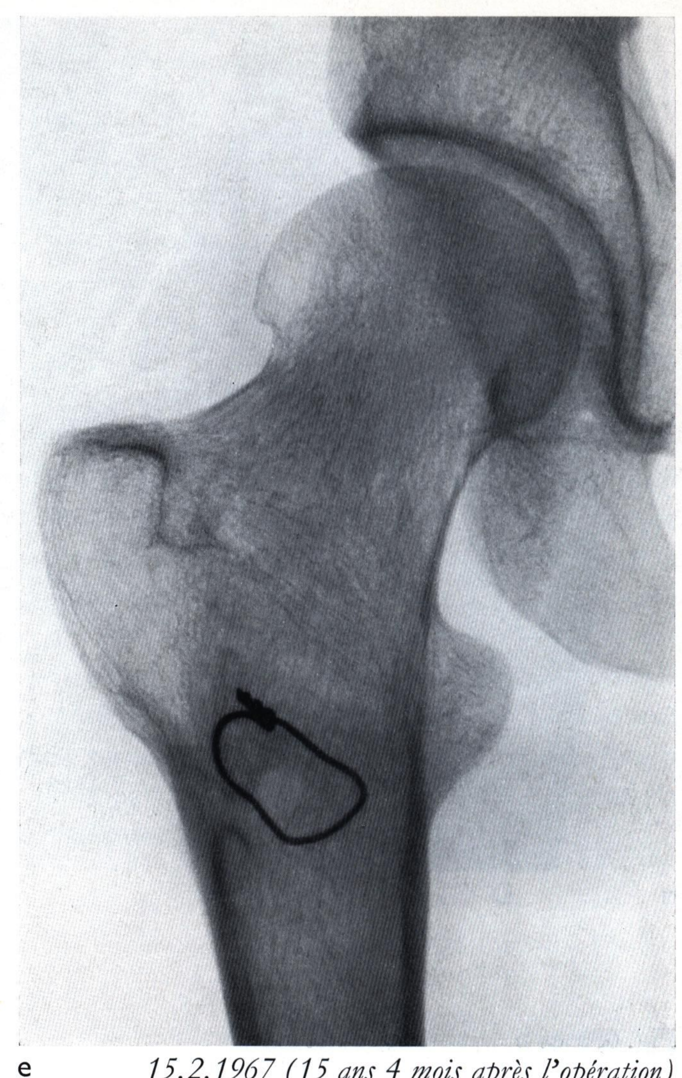


Fig. 67a–c





d *9.4.1959*



e *15.2.1967 (15 ans 4 mois après l'opération)*

Au début du traitement, la déformation en était au même stade de développement (fig. 66b) que chez les deux garçons du même âge (fig. 61a et 63a) chez lesquels la restitution d'un angle cervico-diaphysaire normal (130°) fut suivie d'une récidive grave.

La comparaison des dessins analytiques avant et après l'ostéotomie en Y (fig. 67a et b) montre clairement comment l'opération a modifié la sollicitation du col fémoral.

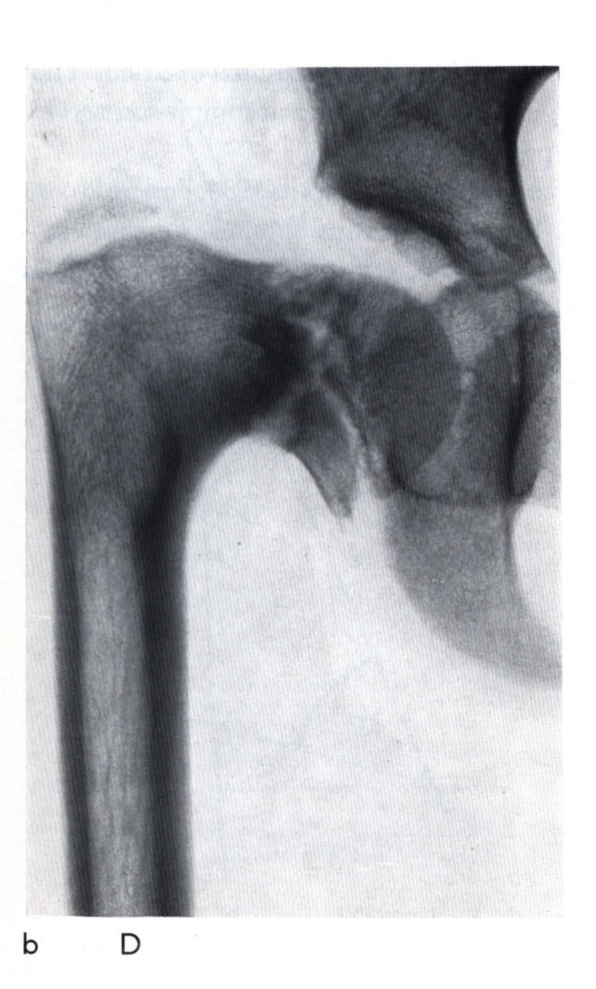
L'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire au delà de la normale (dans le cas présent 150°) a non seulement éliminé l'effet de la force de cisaillement *S* et soumis le cartilage épiphysaire à une sollicitation en compression pure, mais elle a aussi ramené bien en deçà de sa grandeur normale la sollicitation en flexion du col pathologiquement élevée. En outre, l'élargissement du col fémoral a simultanément ramené la force de compression résultante dans le noyau du col. Ainsi les contraintes de traction dues à la flexion ont aussi été éliminées. Finalement le col fémoral ne subit plus que des contraintes de compression relativement petites. Le diagramme fig. 67b le représente.

Comme le montre l'évolution de ce cas (fig. 66c–e) après, restauration de l'équilibre biomécanique par adaptation de la grandeur et de la qualité de la sollicitation, un développement normal démarre. Il entraîne un résultat excellent et durable. Le patient, à l'âge de 22 ans, a accompli son service militaire comme parachutiste.

C'est suivant ce principe que, depuis 1934, j'opère la coxa vara congénitale. Les résultats ainsi obtenus, souvent étonnamment bons (fig. 73–93), constituent une preuve de la valeur de la théorie.

a D G

Fig. 68a et b



b) Préparation et technique opératoire

Comme il a été écrit plus haut (voir page 39), la préparation de l'ostéotomie en Y, de même que celle de toute intervention visant à modifier intentionnellement la sollicitation mécanique, ne peut se réaliser de façon satisfaisante que sur dessin. Elle doit s'appuyer sur une radiographie mettant clairement en évidence les particularités de la situation mécanique. Habituellement ce n'est pas le fait du cliché d'ensemble des hanches (voir fig. 68a. L'image du côté droit, malade, fait plutôt conclure à une ostéochondropathie diffuse qu'à une coxa vara congénitale).

La radiographie utilisée pour la préparation du dessin opératoire doit mettre clairement en évidence le cartilage épiphysaire et la zone de résorption à l'extrémité médiale du col (fig. 68b).

Pour trouver ceux-ci et les montrer en radiographie, il faut ou bien les chercher d'abord en scopie ou prendre plu-

sieurs clichés en différents degrés de rotation. Pour tous ces clichés, le rayon doit être bien centré sur la tête fémorale.

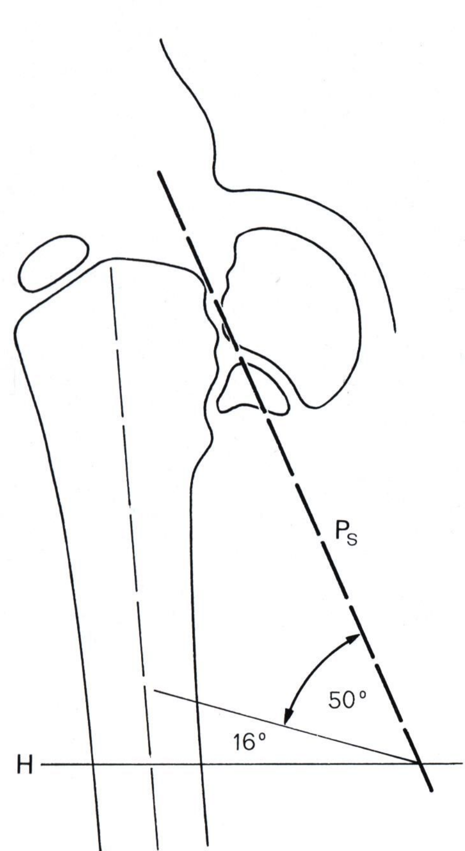
Le cas fig. 66 et 67 servira à expliquer en détail la préparation et la technique de l'ostéotomie en Y.

La radiographie (fig. 66b) montre les caractéristiques d'une coxa vara congénitale. Il s'agit de la projection requise pour la préparation graphique. Elle servira de base au dessin.

Pour dessiner, j'utilise une petite table (65 × 40 cm) dans la tablette de laquelle se trouve enchâssée une vitre translucide de 27 × 33 cm, éclairée par en dessous. Elle permet de calquer la radiographie sur papier transparent (DIN A 4 = 29 × 21 cm). Sur la moitié gauche de la feuille transparente, posée transversalement sur le film, les contours sont d'abord très exactement tracés. Le dessin comprend l'articulation, la situation du cartilage épiphysaire et l'axe diaphysaire du fémur (fig. 69a). On y trace en outre les lignes suivantes:

1. Une horizontale *H* qui coupe la diaphyse fémorale plusieurs centimètres sous le petit trochanter.
2. Une ligne pointillée *Ps* suivant le cartilage épiphysaire et prolongée vers le bas jusqu'à l'intersection avec l'horizontale *H*.
3. De cette intersection, une troisième ligne inclinée de 16° sur l'horizontale et donc à peu près perpendiculaire à la direction de la force de compression résultante *R*.

L'angle formé par la troisième ligne et la ligne pointillée *Ps* (dans le cas représenté 50°) indique la dimension du coin à réséquer pour rendre le cartilage épiphysaire perpendiculaire à la force de compression résultante et ainsi transformer la force de cisaillement (*S*) en une force de compression pure (*D*) (fig. 67a et b). On trace d'abord le trait de section supérieur qui atteint le cartilage épiphysaire dans la zone de résorption médiale (fig. 69b). Le coin est ensuite porté dans le dessin de sorte que son sommet divise le trait supérieur en x. La partie du diamètre du fragment diaphysaire restant du côté médial doit correspondre à la largeur de la partie médiale de la console séparée par la zone de résorption.



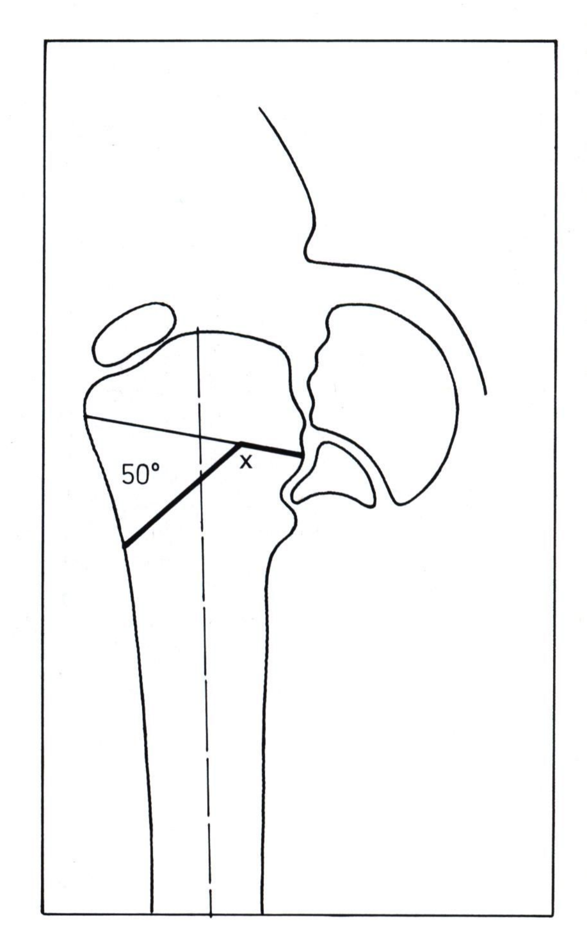


Fig. 69a et b   a   b

Pour terminer l'esquisse opératoire, une nouvelle feuille transparente est posée sur le premier dessin et le fragment inférieur de l'ostéotomie y est seul calqué avec son axe (fig. 70a). La feuille supérieure est ensuite tournée dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que les traits de section des deux fragments coïncident. Le fragment supérieur est alors calqué. Les axes fémoraux forment maintenant un angle de 50° (fig. 70b). Pour terminer, la feuille supérieure est redressée, glissée vers le haut parallèlement à l'axe du fémur apparaissant par transparence jusqu'à ce que la tête fémorale vienne se placer dans le cotyle de la première feuille. Le cotyle est alors lui aussi calqué (fig. 70c).

Durant l'opération, les traits de section déterminés dans le dessin sont marqués par des broches de Kirschner transosseuses dont la situation doit être contrôlée radiographiquement (fig. 71b).

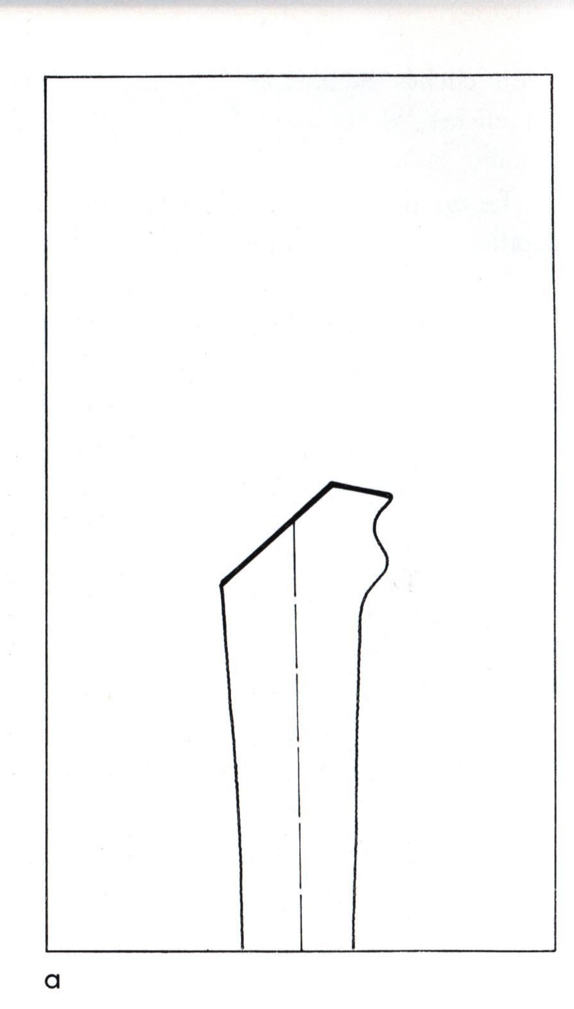


Fig. 70a–c

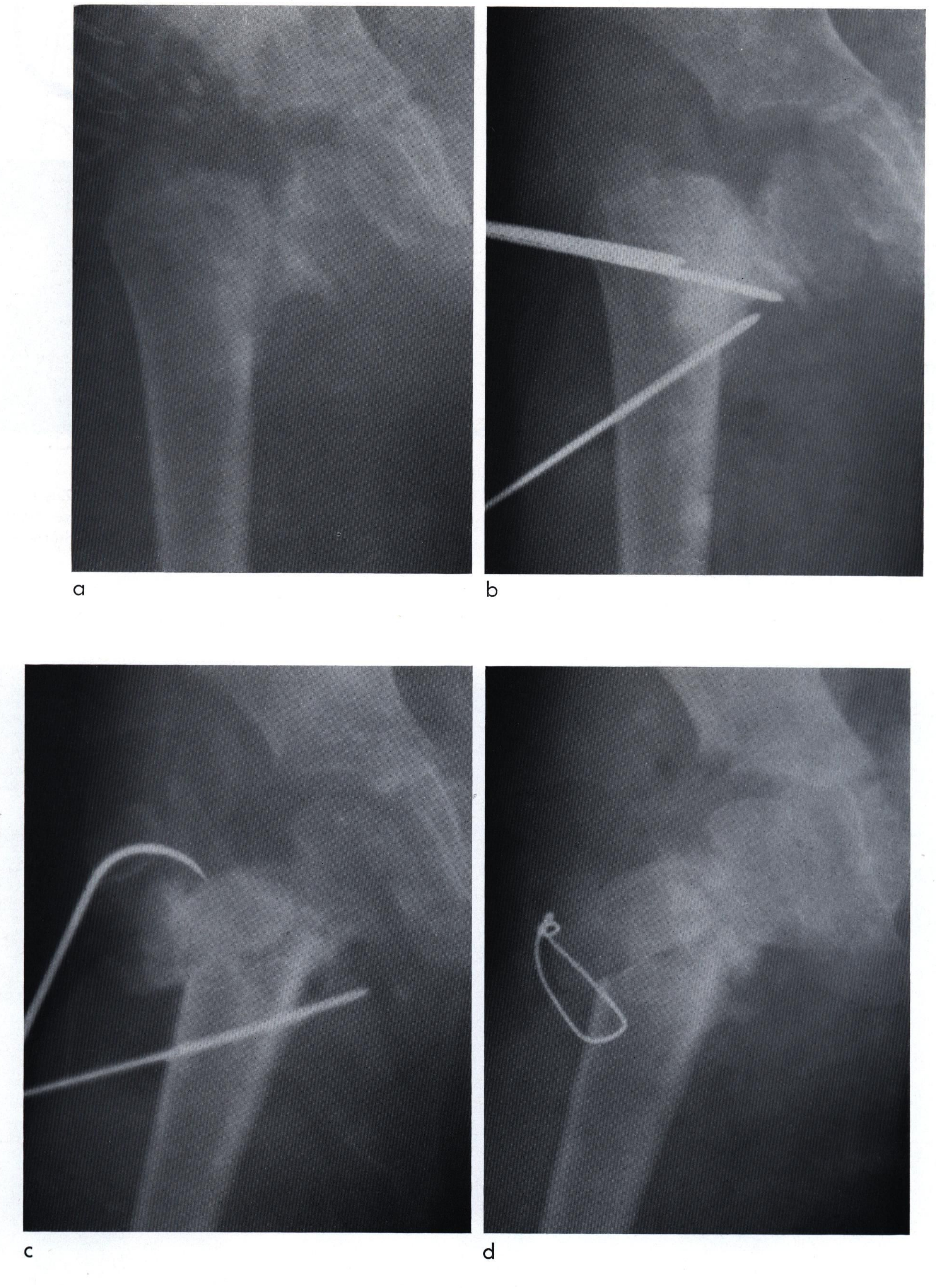


Fig. 71a–d
Radiographies durant l'opération du 25.10.1951

Pour fixer les fragments de l'ostéotomie, j'ai toujours utilisé avec succès un hauban métallique (fig. 71d et 72a–c)[26]. Pour sa mise en place, il faut tenir compte de ce que, dans la région du grand trochanter, le foyer d'ostéotomie tend à bàiller en avant et latéralement.

A l'aide d'une broche de Kirschner de 2 mm, deux trous sont creusés, parallèles aux surfaces de l'ostéotomie, un environ 1 cm au dessus de la surface supérieure, l'autre 1 cm en dessous de la surface inférieure, du milieu de la face latérale au milieu de la face antérieure de l'os (fig. 72a et b). Un fil d'acier V2a de 1 mm de diamètre est passé dans les deux canaux et noué à lui-même à la partie latérale du fémur (fig. 72c). De cette manière le même fil d'acier forme deux haubans qui pontent le foyer d'ostéotomie en dehors et en avant du col fémoral. Ils fixent les fragments de l'ostéotomie sous compression. Chez l'enfant, ce hauban métallique vaut mieux que n'importe quelle fixation par plaques ou vis. Un plâtre pelvi-pédieux en abduction est ensuite confectionné pour 6 semaines.

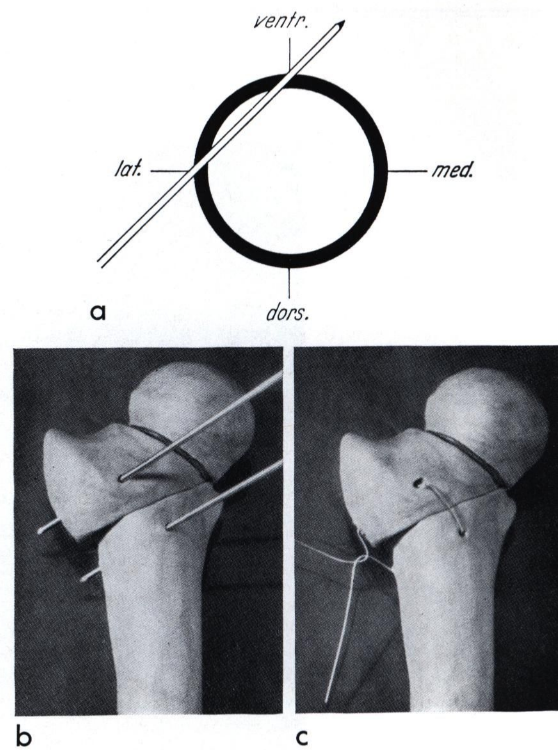
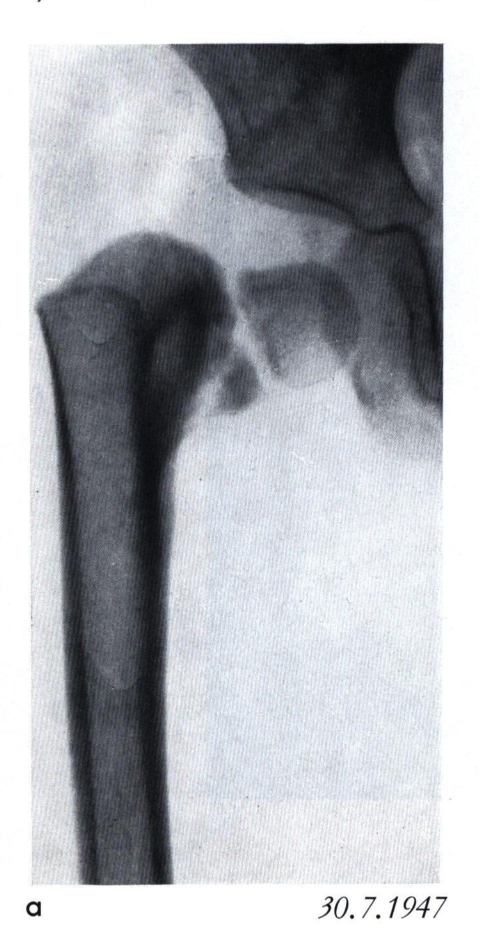
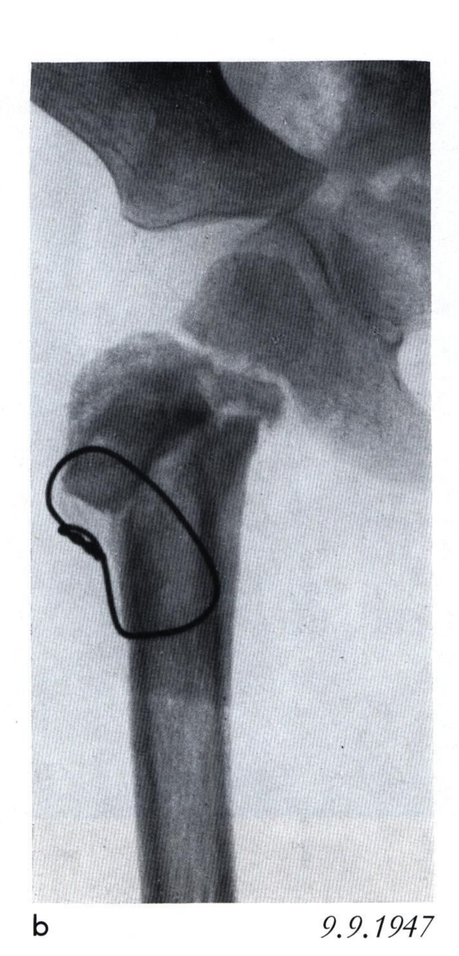


Fig. 72a–c

26 *Pauwels, F.*: Über die Bedeutung einer Zuggurtung für die Beanspruchung eines Röhrenknochens und ihre Verwendung zur Druckosteosynthese. Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 52. Kongr. Stuttgart 1965, p. 231–257. Stuttgart: Enke 1966.

c) Résultats de l'ostéotomie en Y


a *30.7.1947*


b *9.9.1947*

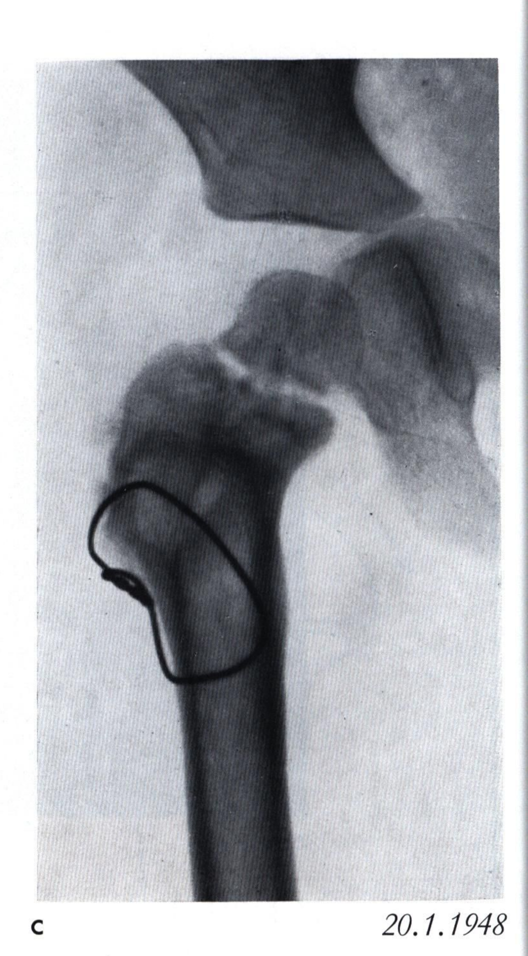

c *20.1.1948*

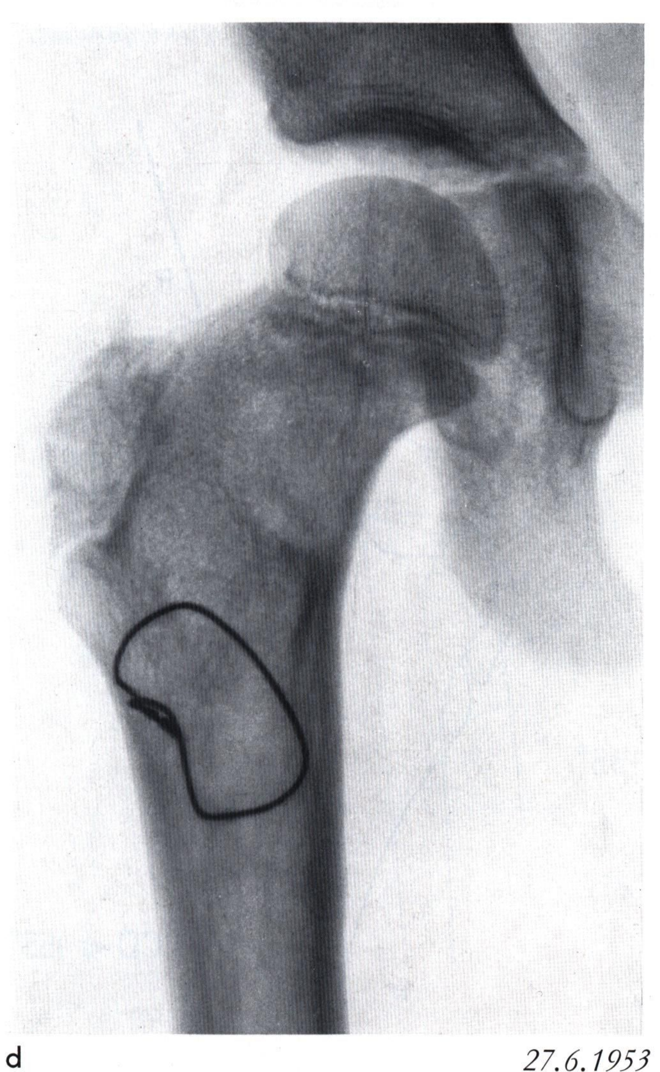
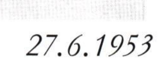
Fig. 73a–e
A.M., ♂, né le 31.1.1944,
Opération le 31.7.1947 (à l'âge de 3 ans et 6 mois)

R Z S 50° D P_S 50° 16° H CCD ∢ 95° a

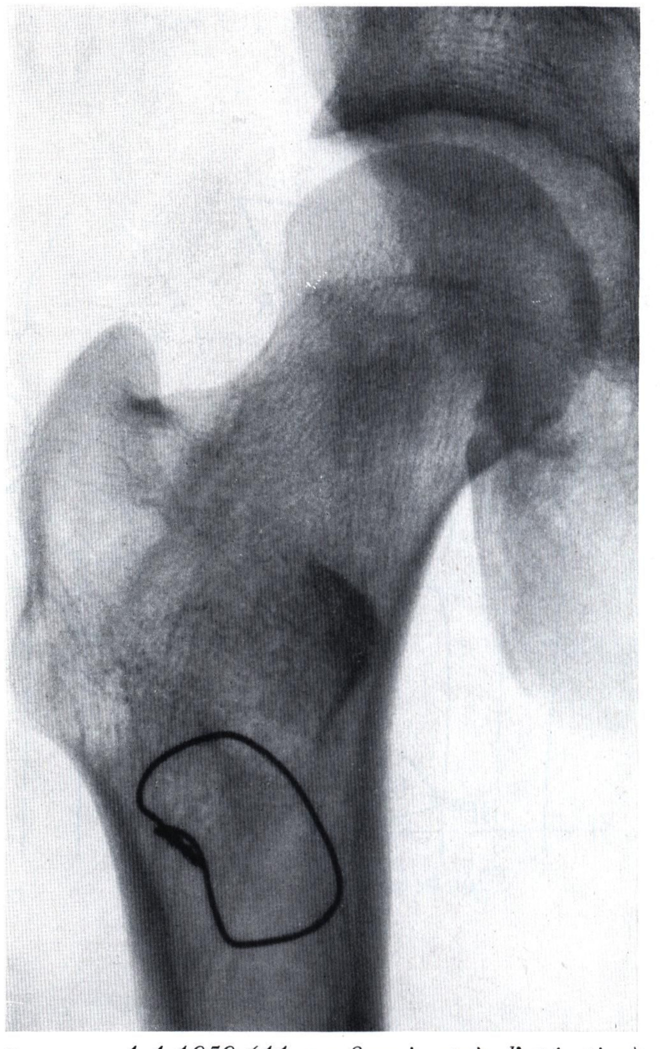
R D D CCD ∢ 145° b

R D D CCD ∢ 145° c

Fig. 74a–c

d *27.6.1953*



e *4.4.1959 (11 ans 8 mois après l'opération)*

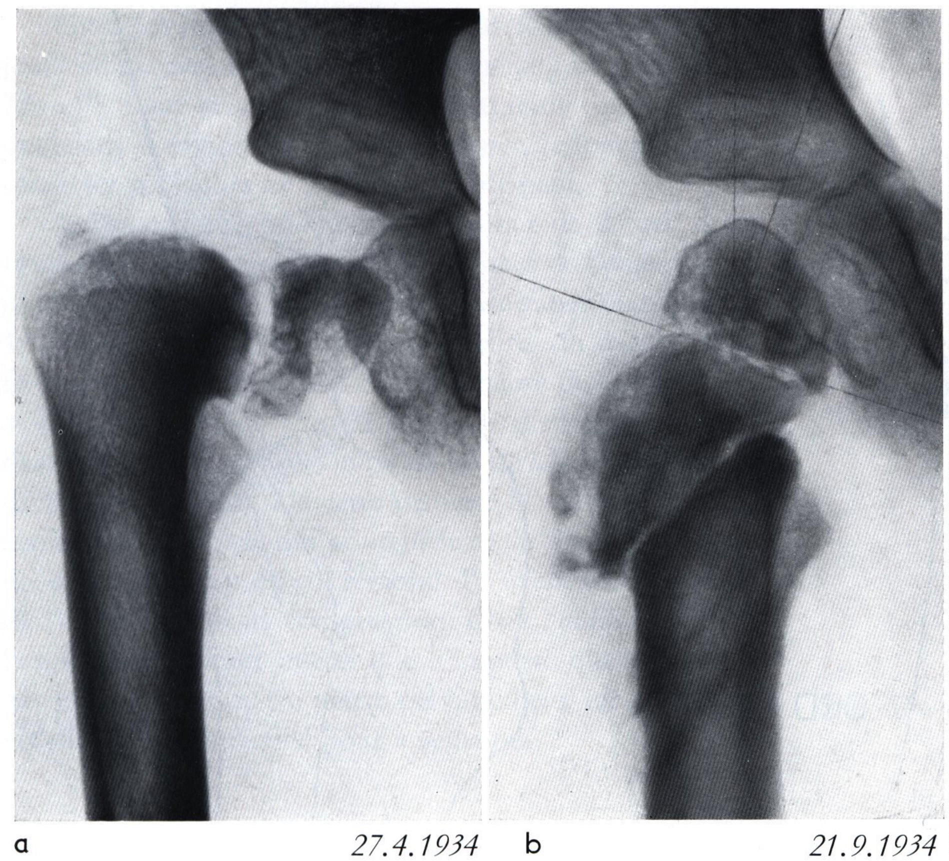




Fig. 75a–c
G.K., ♀, née le 19.4.1930,
Opération le 17.8.1934 (à l'âge de 4 ans et 4 mois)

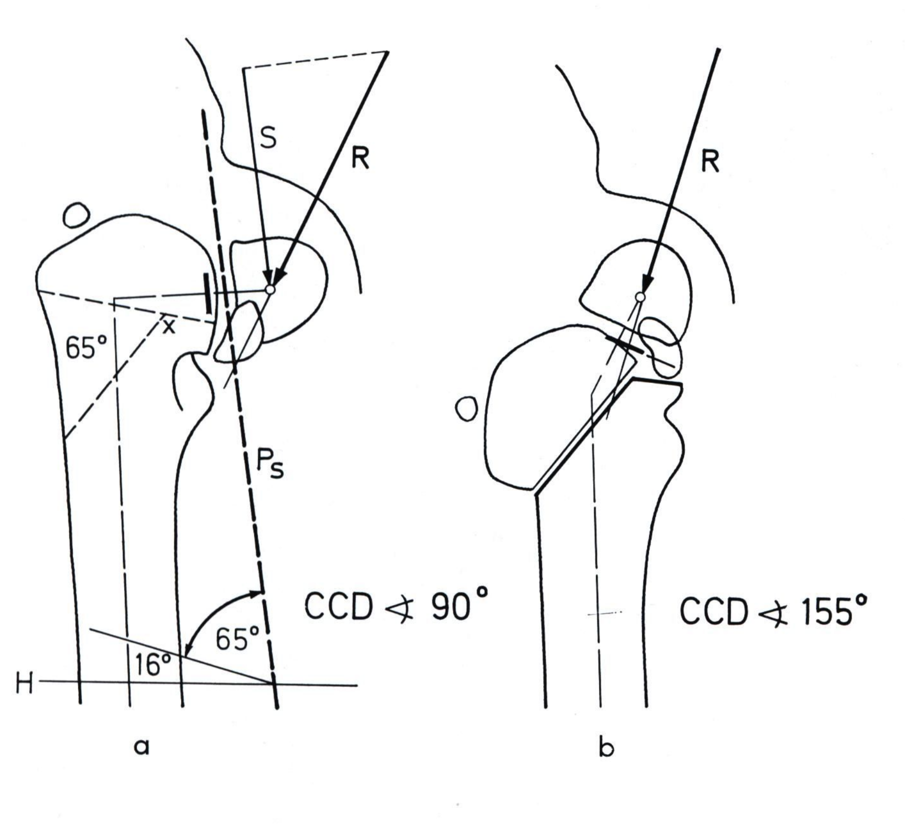


Fig. 76a–c

a b c

Fig. 77a–c
Radiographies de J.M. Fig. 80
à différents degrés de rotation du membre,
Projection correcte : Fig. 77c

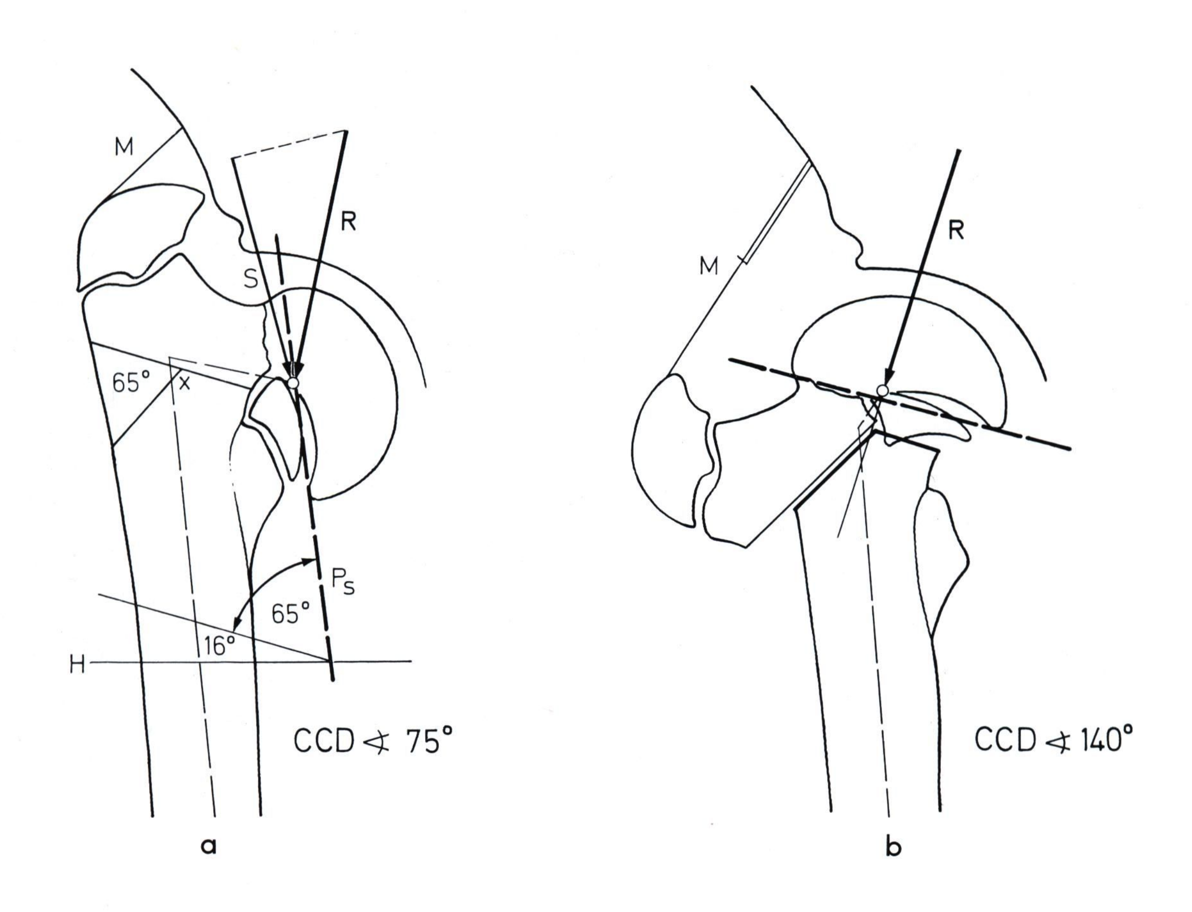


Fig. 78a et b

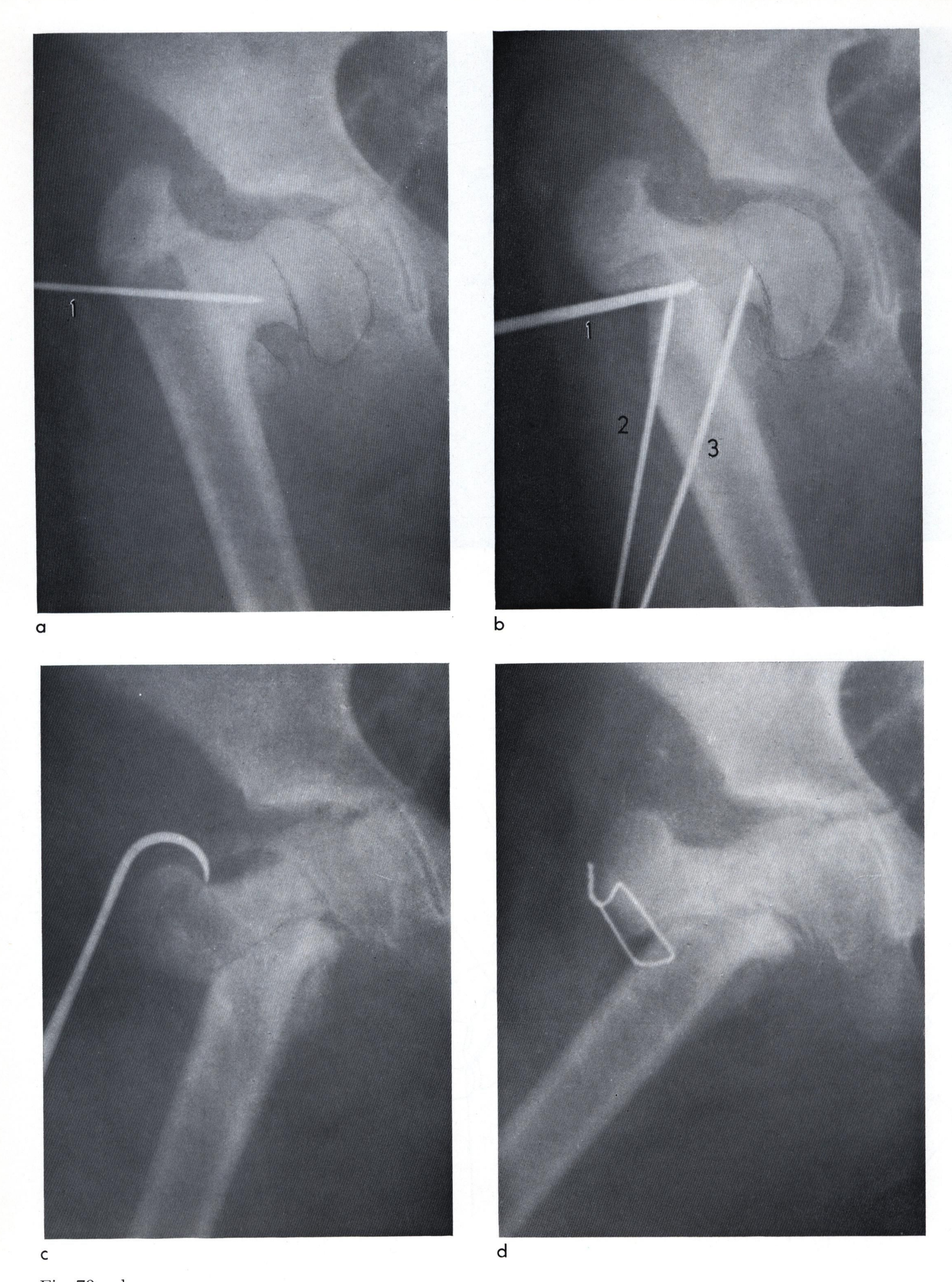
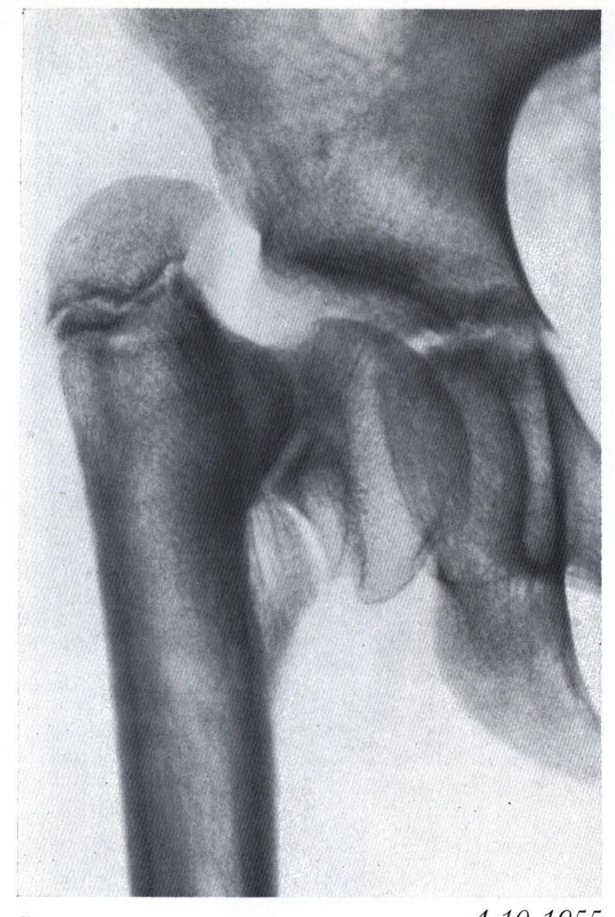
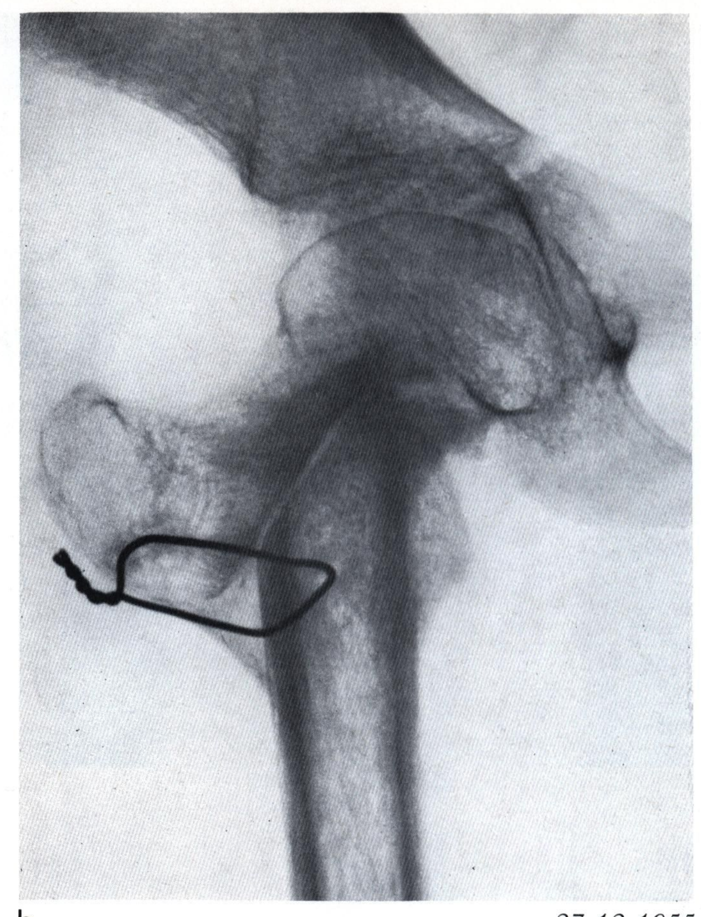


Fig. 79a–d
Radiographies de J.M. Fig. 80 durant l'opération du 11.10.1955

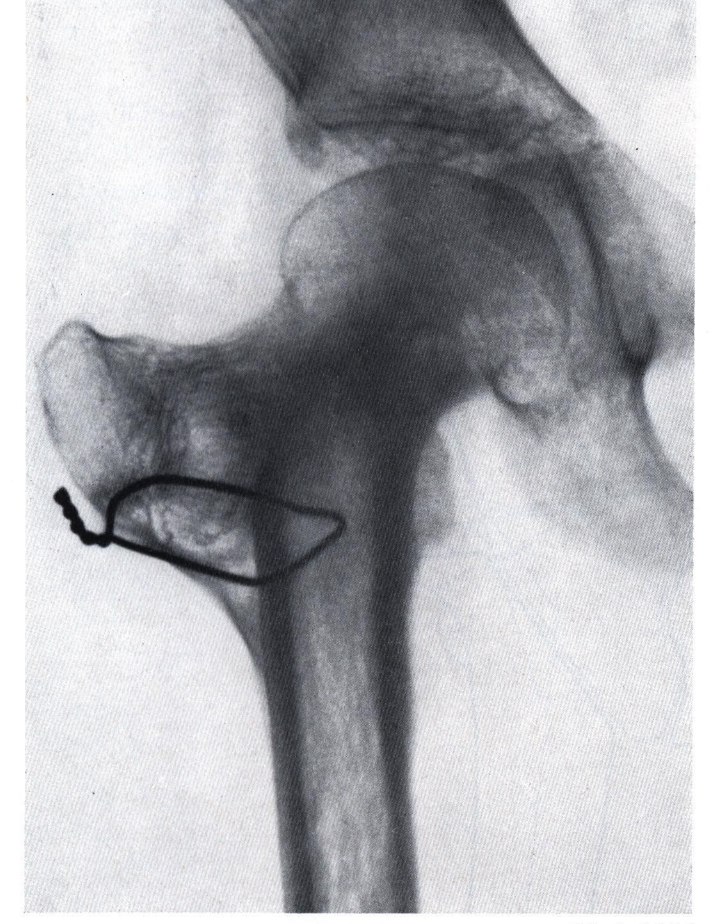




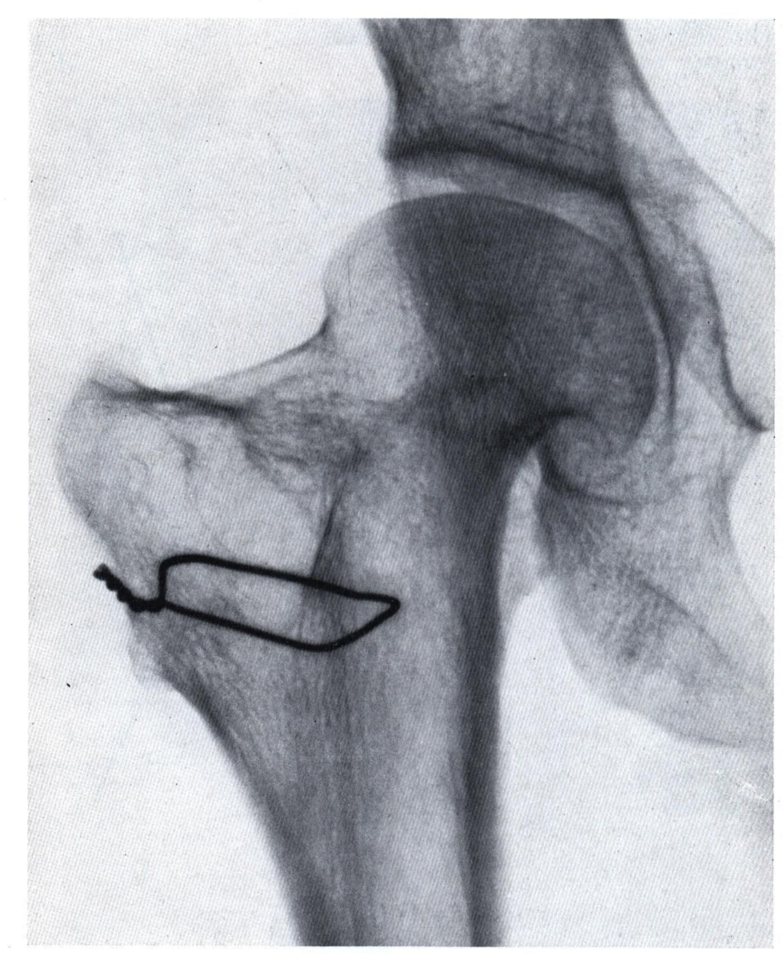
a *4.10.1955*



b *27.12.1955*



c *28.1.1956*



d *29.2.1972 (16 ans 4 mois après l'opération)*

Fig. 80a–d
J.M., ♀, née le 5.2.1945,
Opération le 11.10.1955 (à l'âge de 10 ans et 8 mois)

a b c

Fig. 81 a–c
Radiographies de M. A. Fig. 83 à différents degrés de rotation du membre, Projection correcte : Fig. 81 c

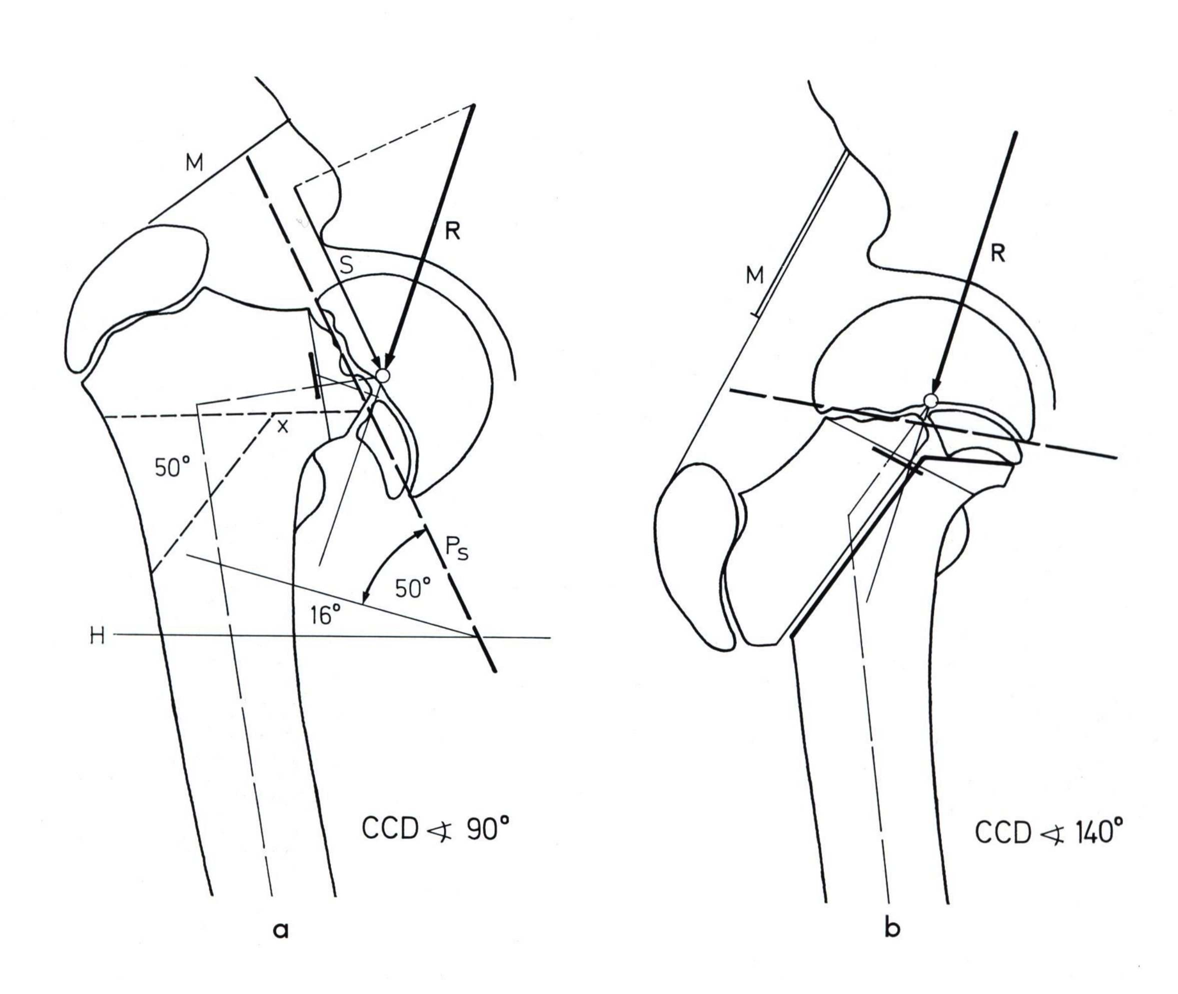
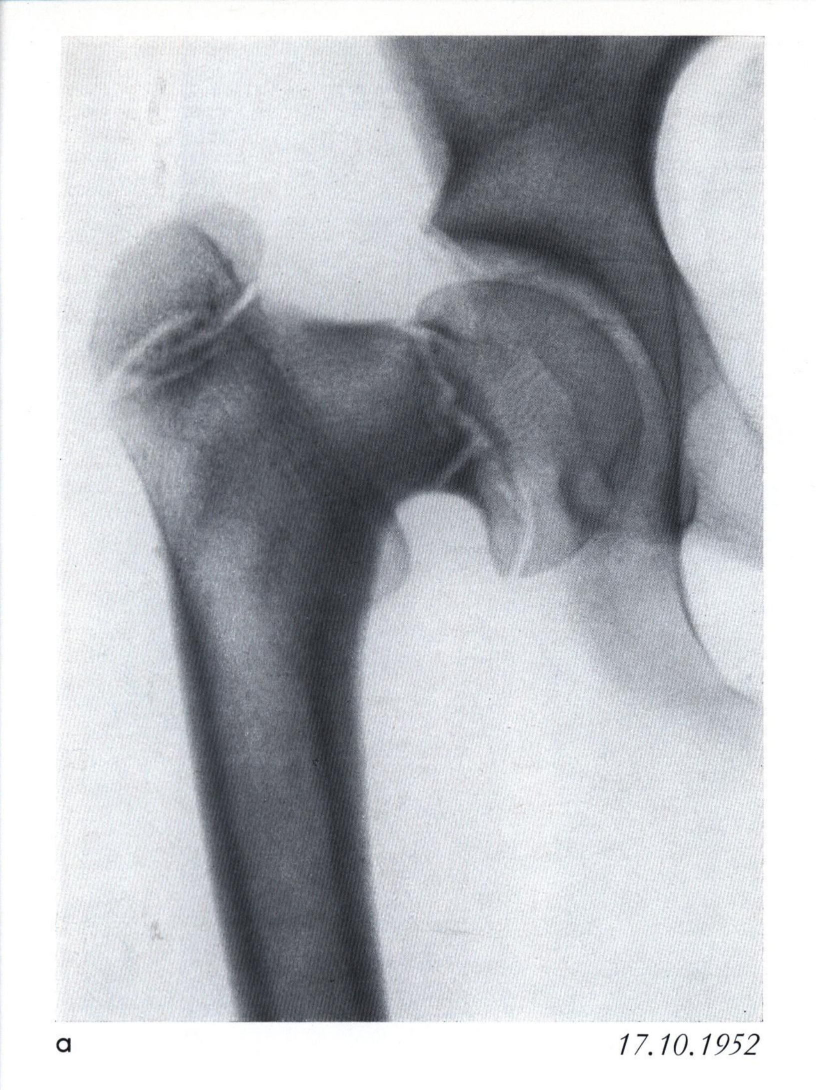
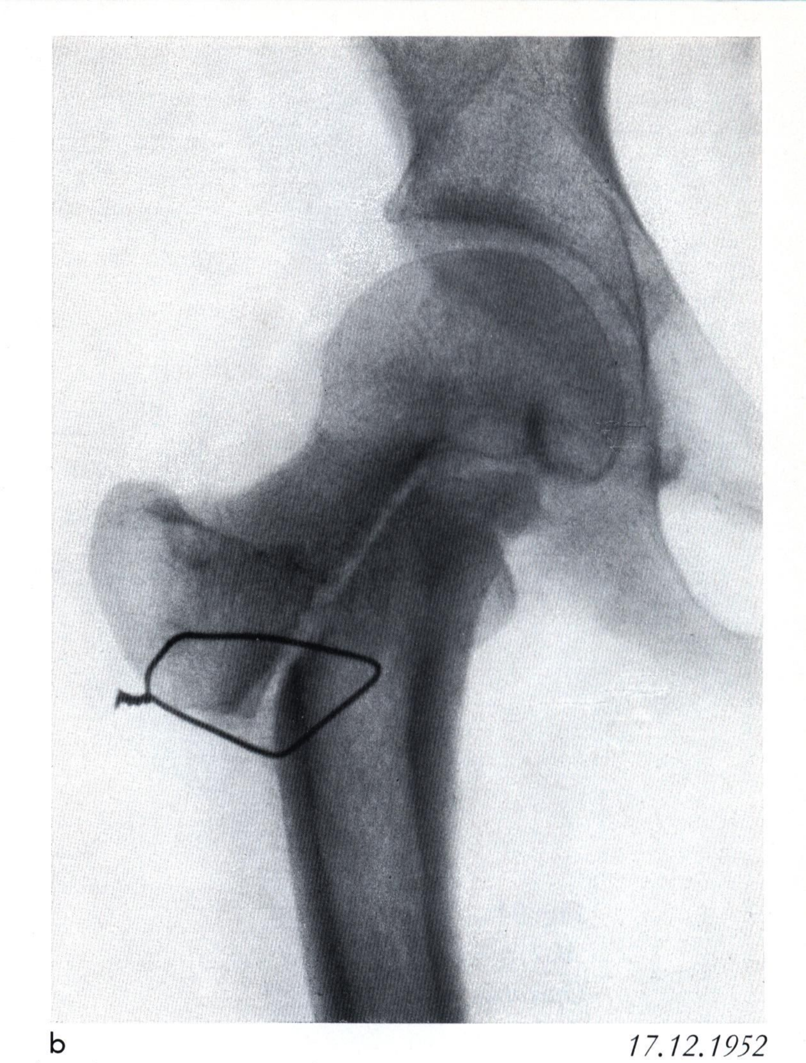


Fig. 82a et b

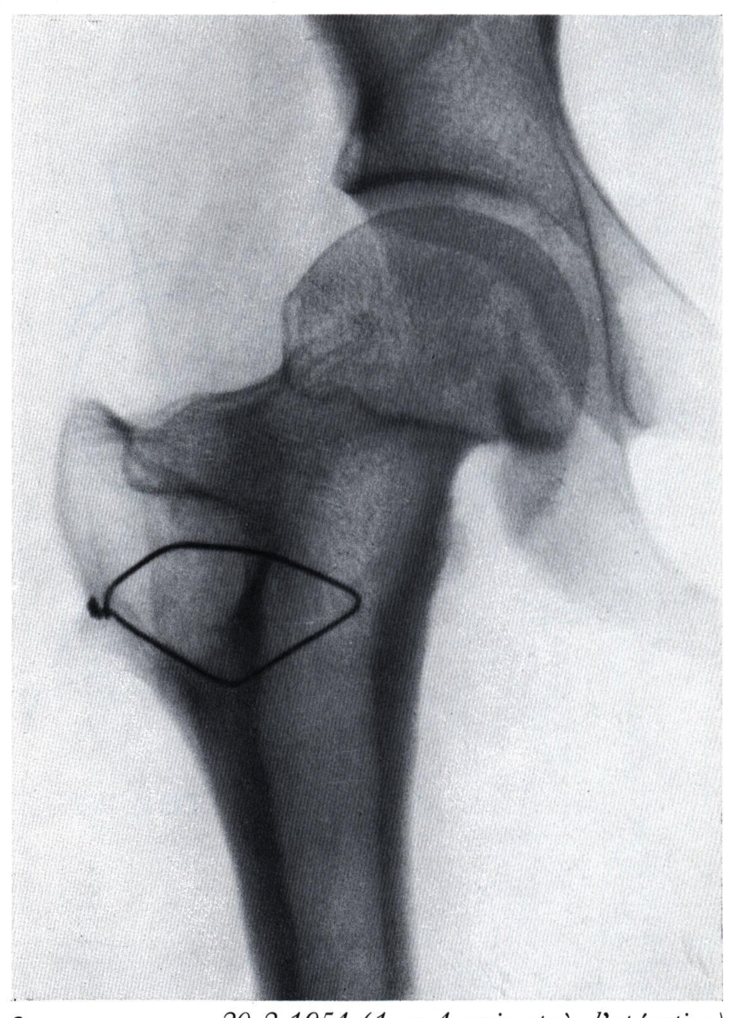


a *17.10.1952*



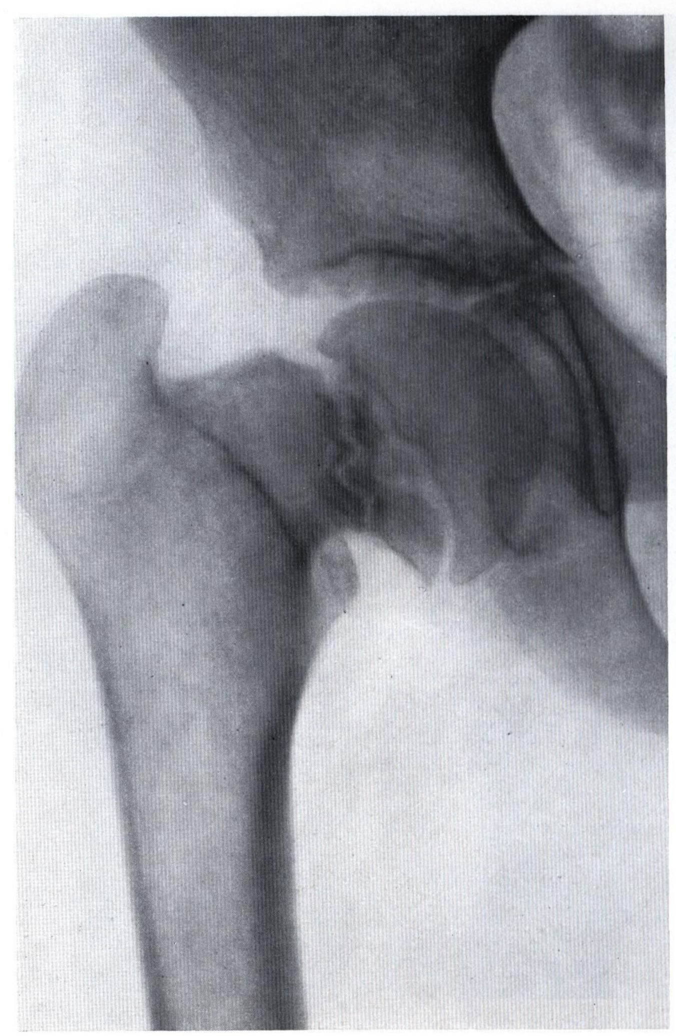
b *17.12.1952*

Fig. 83a–c
M. A., ♂, née le 28.5.1941,
Opération le 21.10.1952
(à l'âge de 11 ans et 5 mois)



c *20.2.1954 (1 an 4 mois après l'opération)*

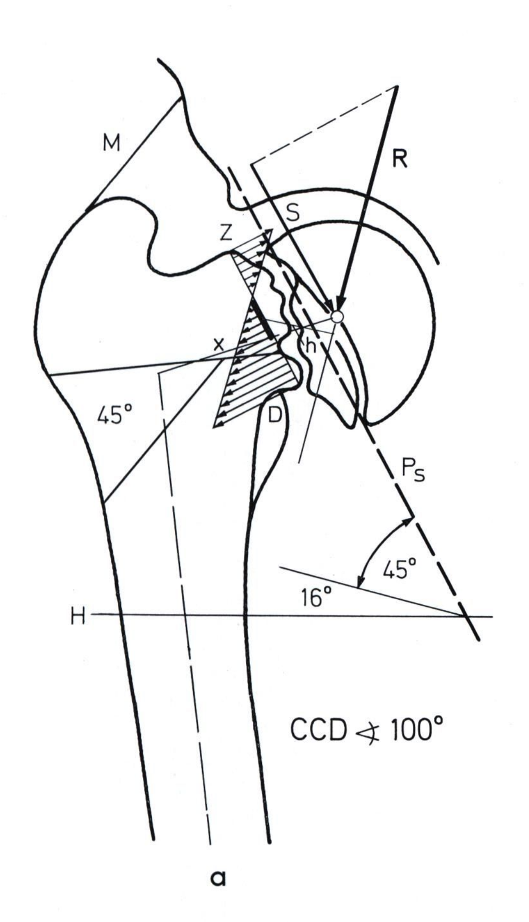
Fig. 84a–c
M.H., ♀, née le 26.3.1940,
Opération le 1.2.1951
(à l'âge de 10 ans et 10 mois)



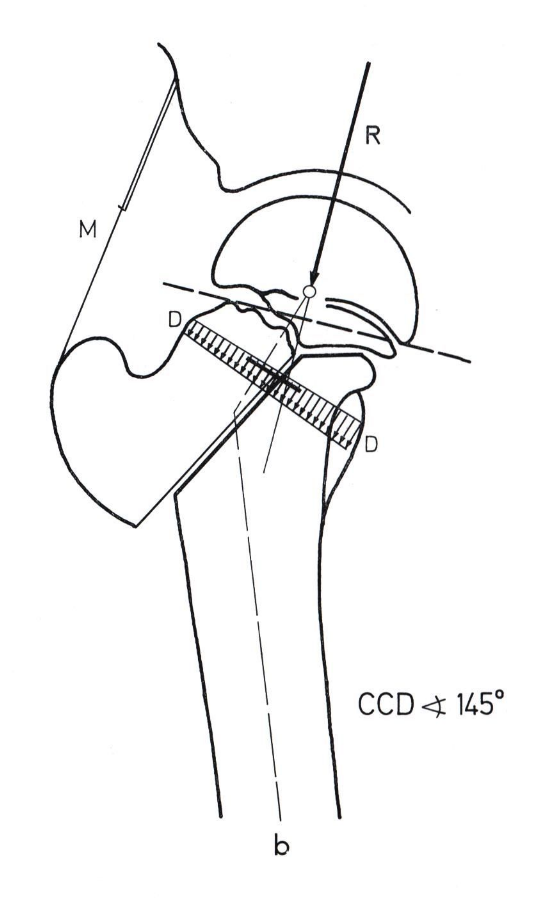


a

4.1.1951

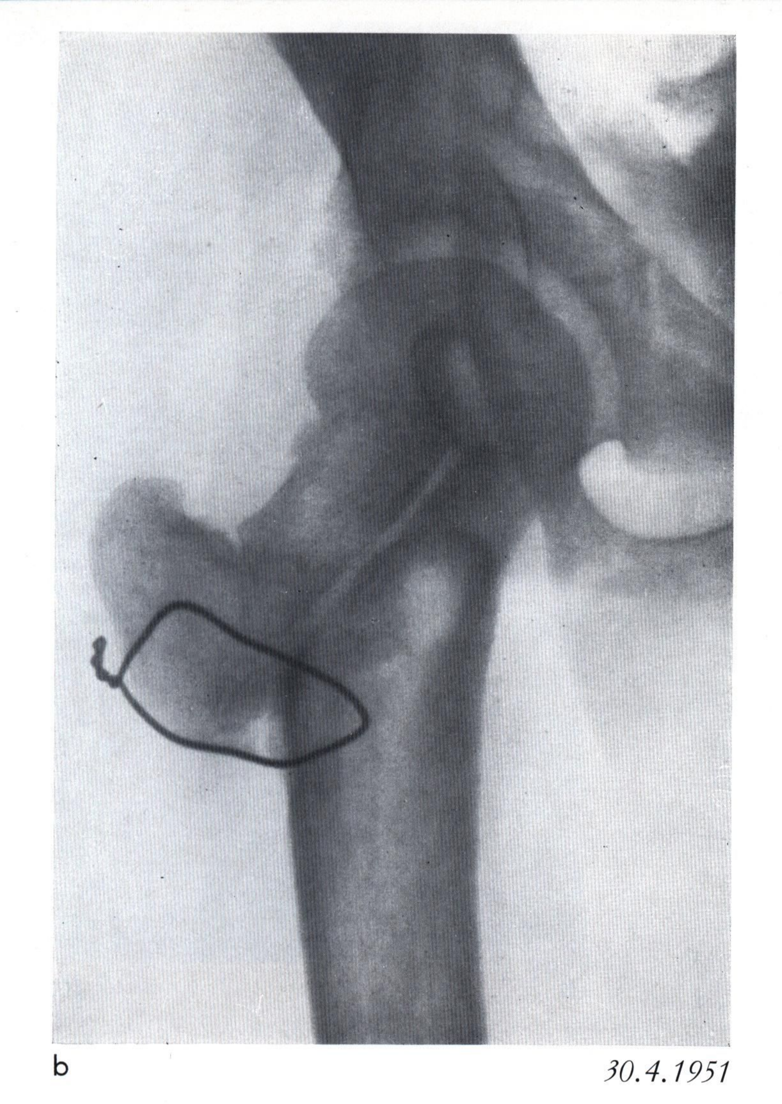


a

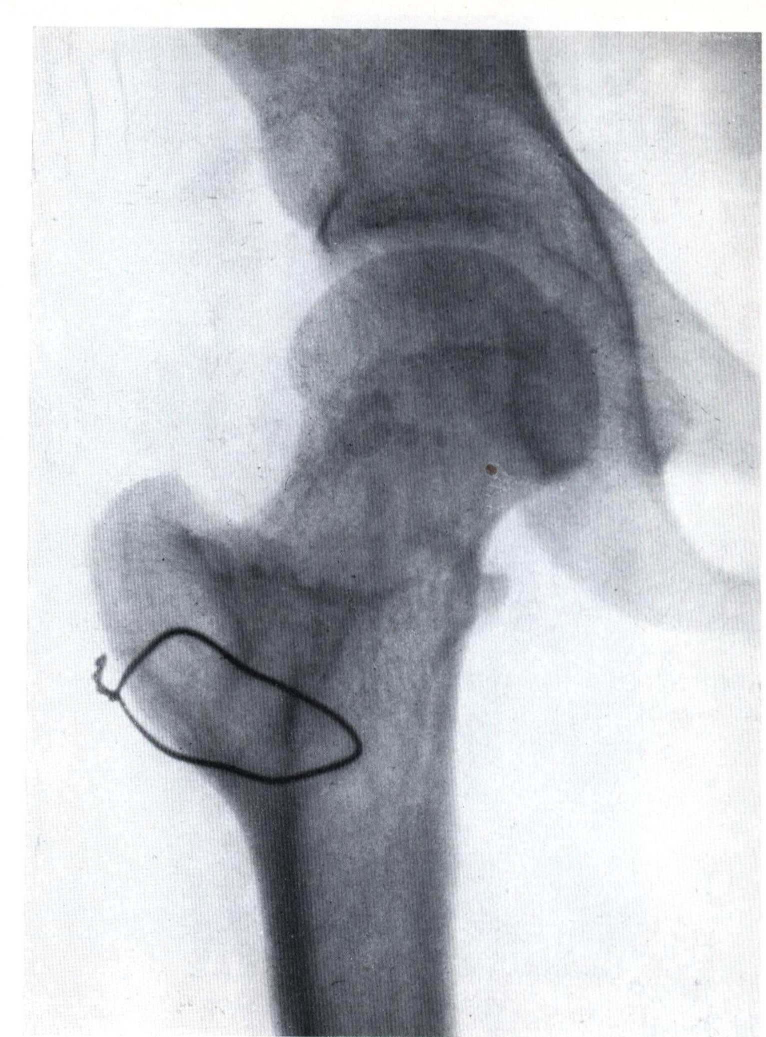


b

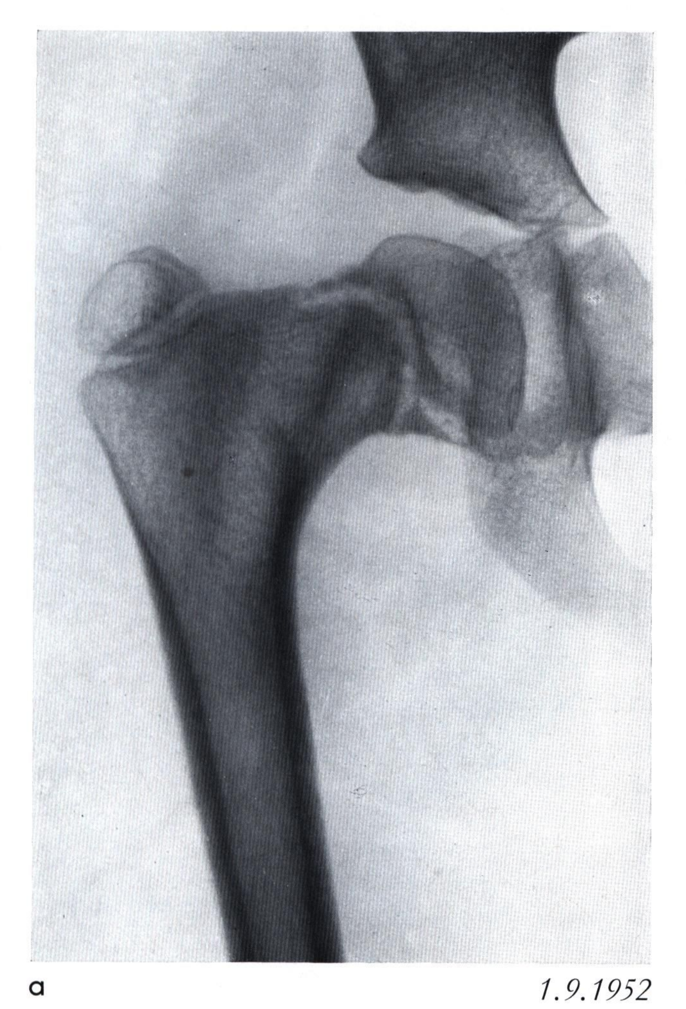
Fig. 85a et b



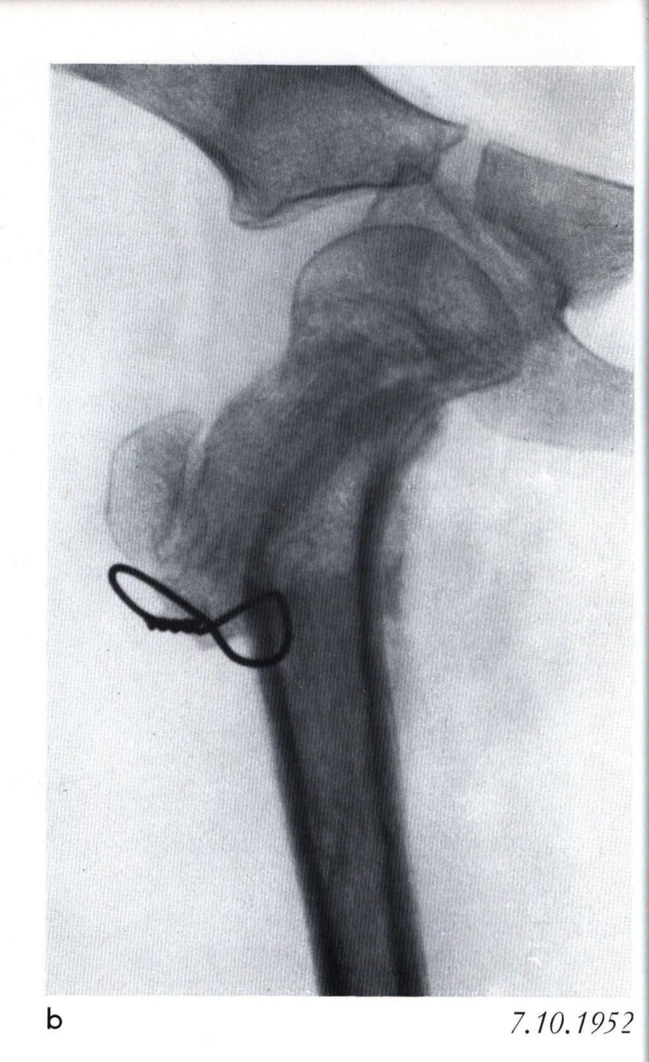
b *30.4.1951*



c *20.3.1953 (2 ans 2 mois après l'opération)*

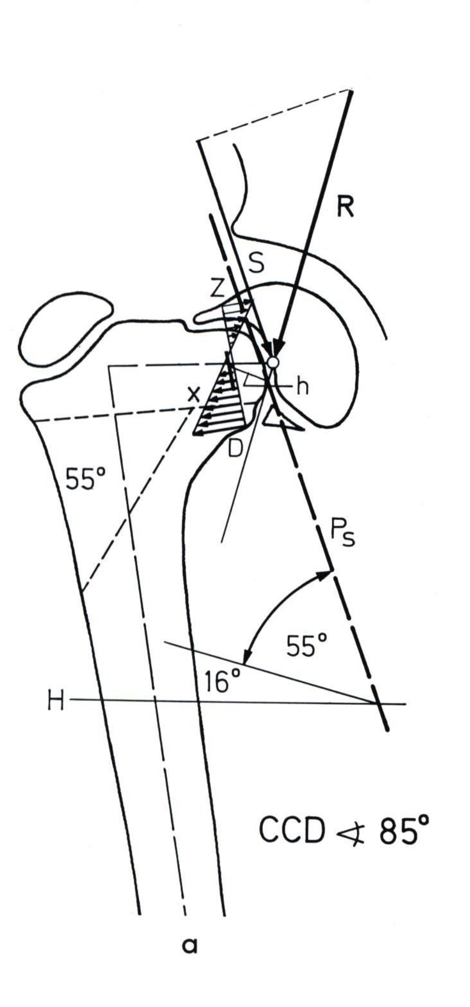


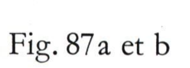
a 1.9.1952



b 7.10.1952

Fig. 86a–d
I.K., ♀, née le 18.10.1945,
Opération le 4.9.1952 (à l'âge de 6 ans et 11 mois)





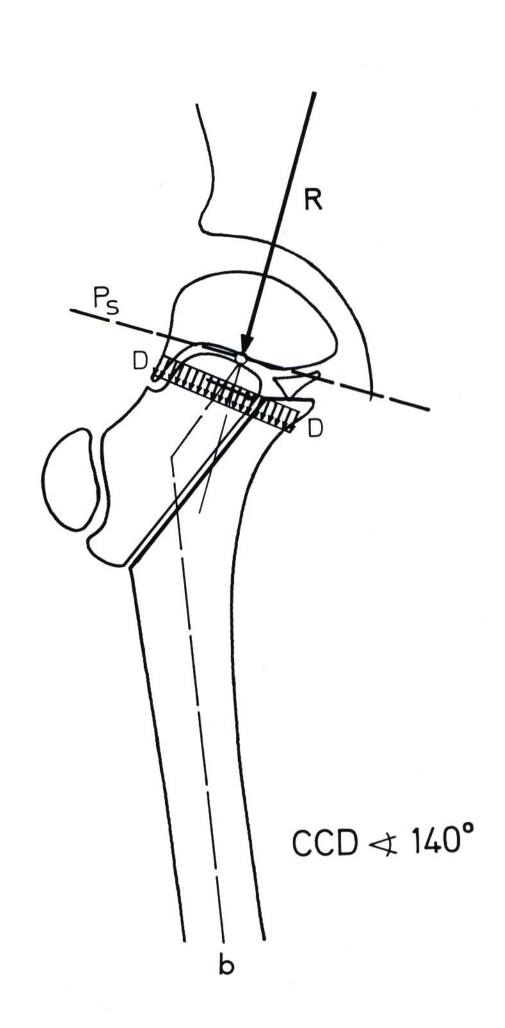
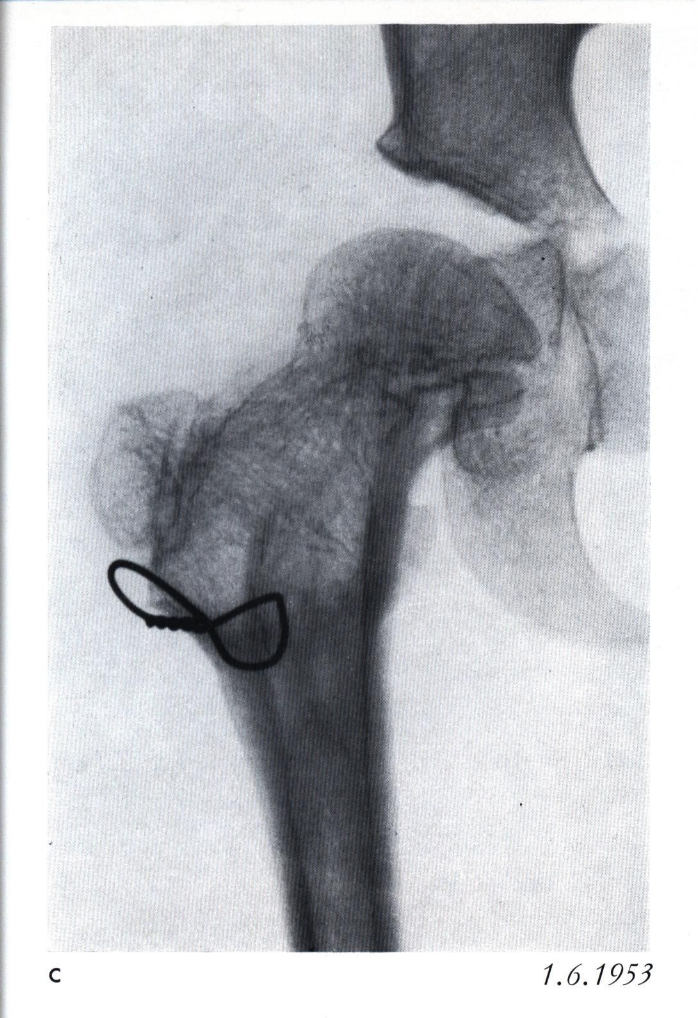


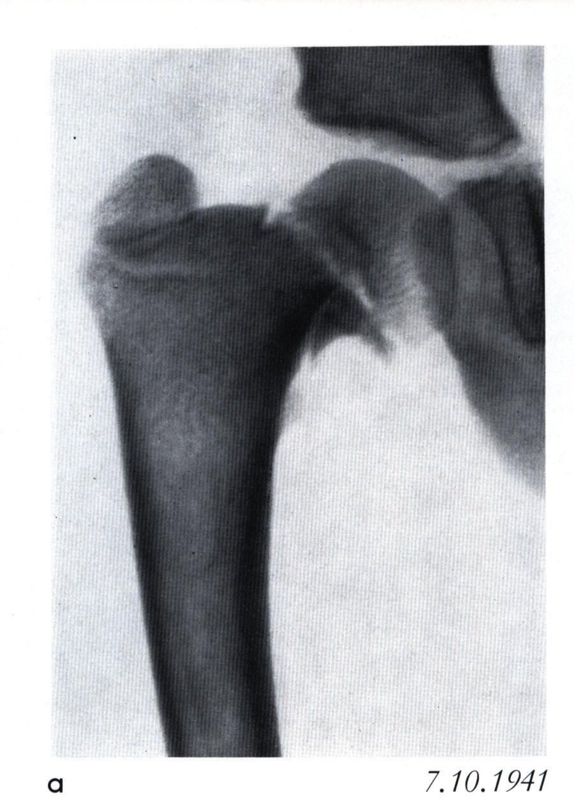
Fig. 87a et b



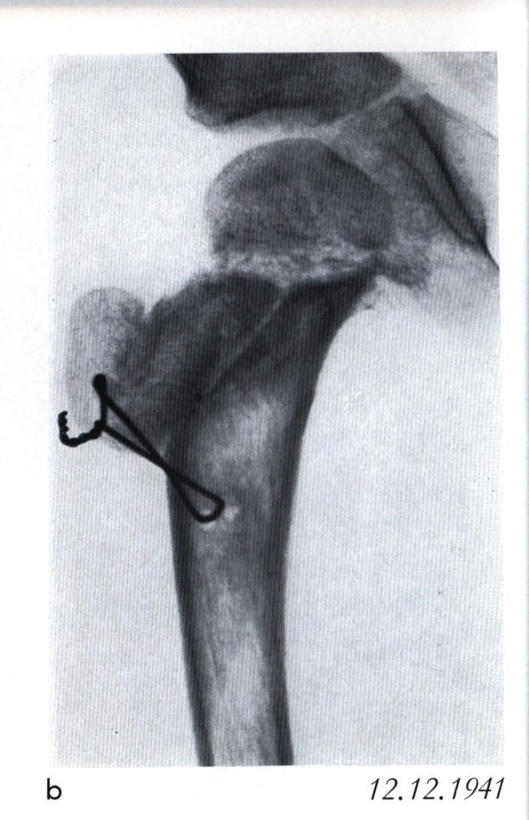
c *1.6.1953*

d *13.9.1954 (2 ans après l'opération)*

Fig. 88a–e
M.T., ♀, née en 1934,
Opération le 10.10.1941
(à l'âge de 7 ans)



a *7.10.1941*



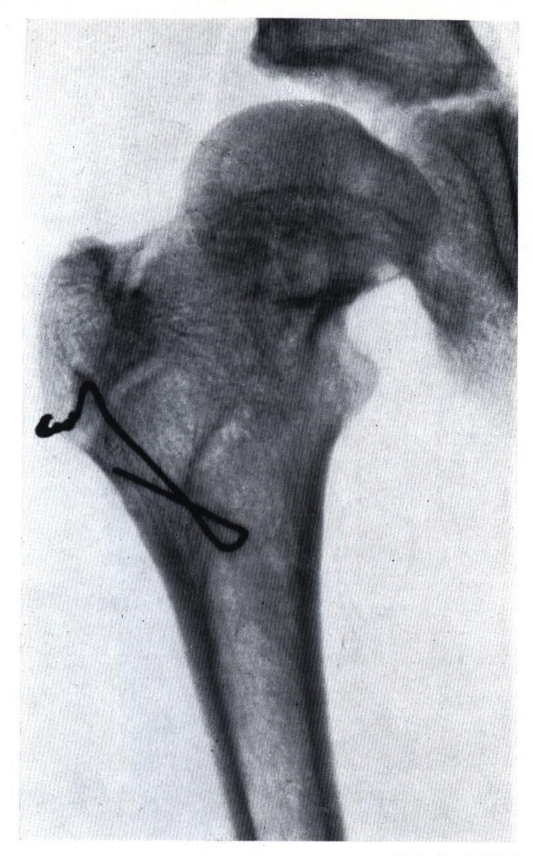
b *12.12.1941*

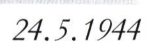
R
S
x
45°
P_S
45°
16°
H
CCD ∢ 105°
a

R
CCD ∢ 150°
b

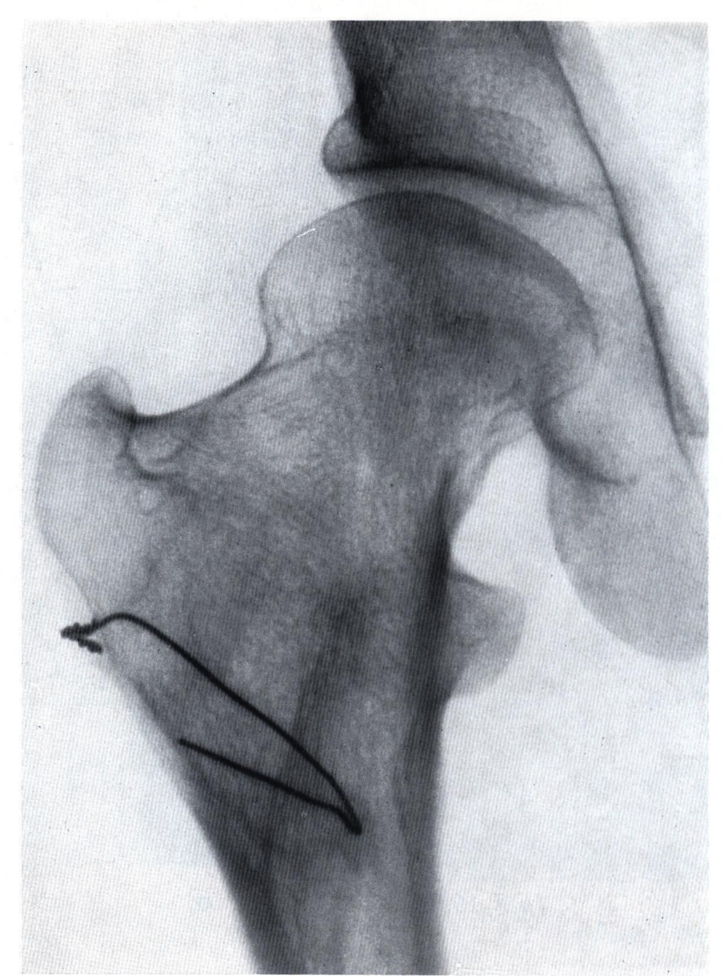
R
D
D
CCD ∢ 145°
c

Fig. 89a–c

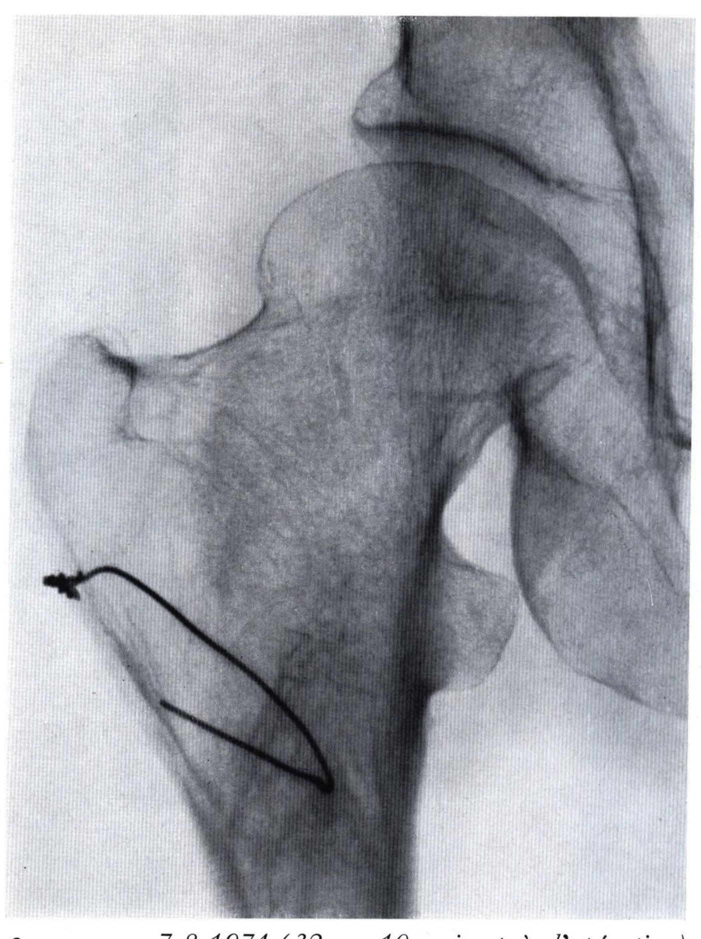




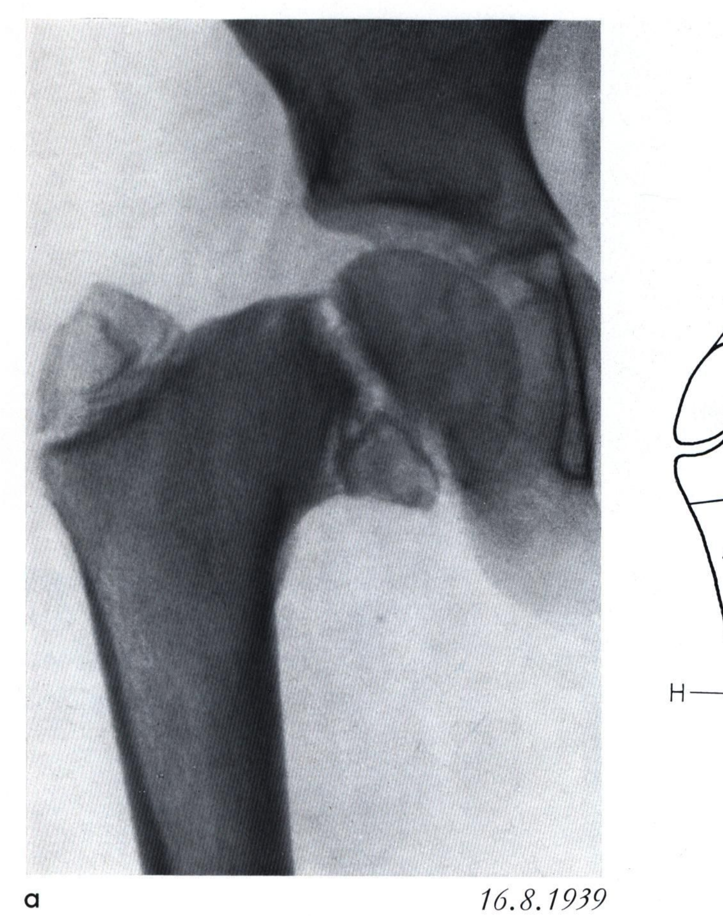
c *24.5.1944*



d *17.7.1951 (9 ans 9 mois après l'opération)*



e *7.8.1974 (32 ans 10 mois après l'opération)*



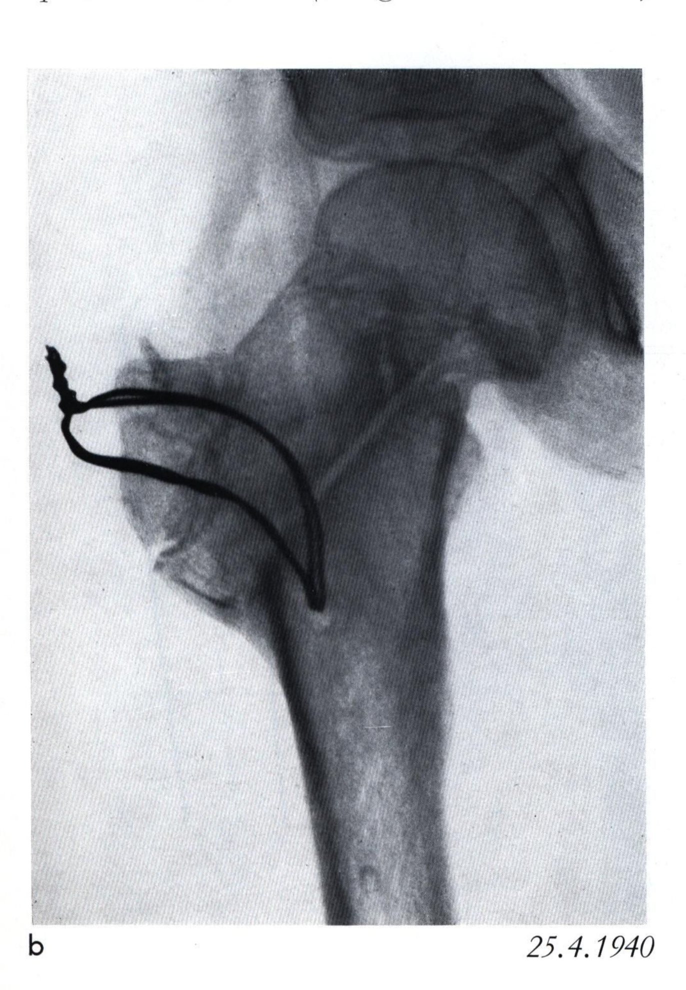
a *16.8.1939*

M
R
S
x
44°
P_S
44°
16°
H
CCD ∢ 100°
a

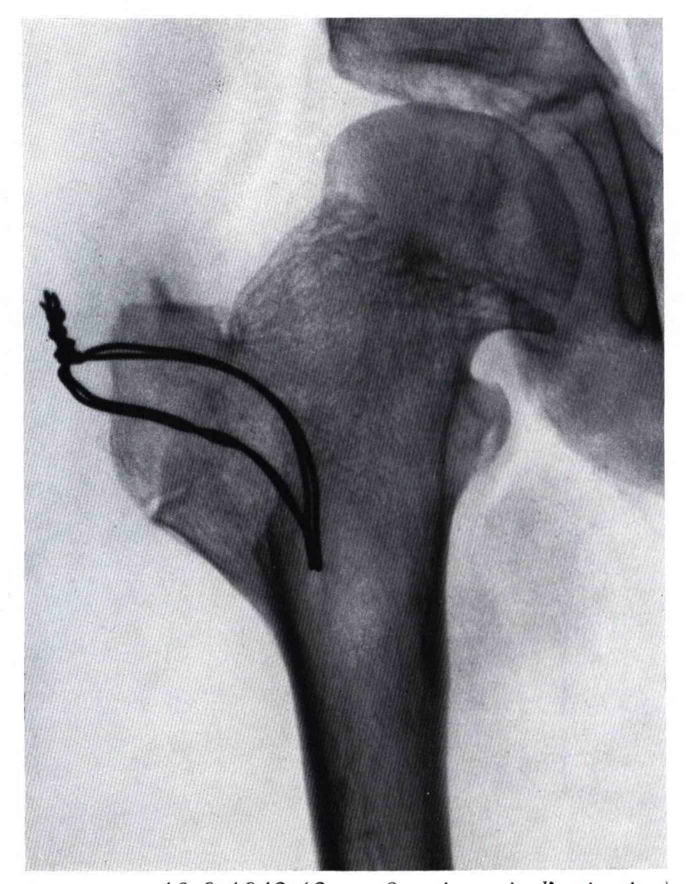
M
R
CCD ∢ 144°
b

Fig. 90a–c
J.Sch., ♂, né le 30.5.1929,
Opération le 12.1.1940 (à l'âge de 10 ans et 7 mois)

Fig. 91a et b



b *25.4.1940*



c *18.9.1942 (2 ans 8 mois après l'opération)*

a 7.6.1938 b 4.7.1938 c 5.1.1940 (1 an 7 mois après l'opération)

Fig. 92a–c
A.St., ♀, née en 1930,
Opération le 15.6.1938 (à l'âge de 8 ans)

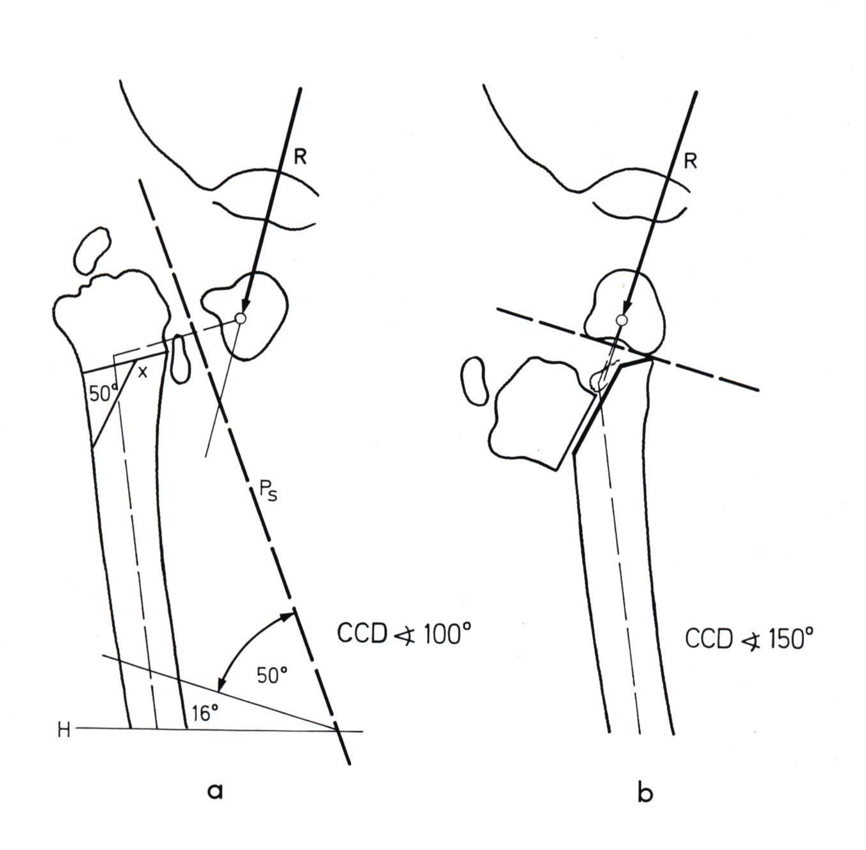
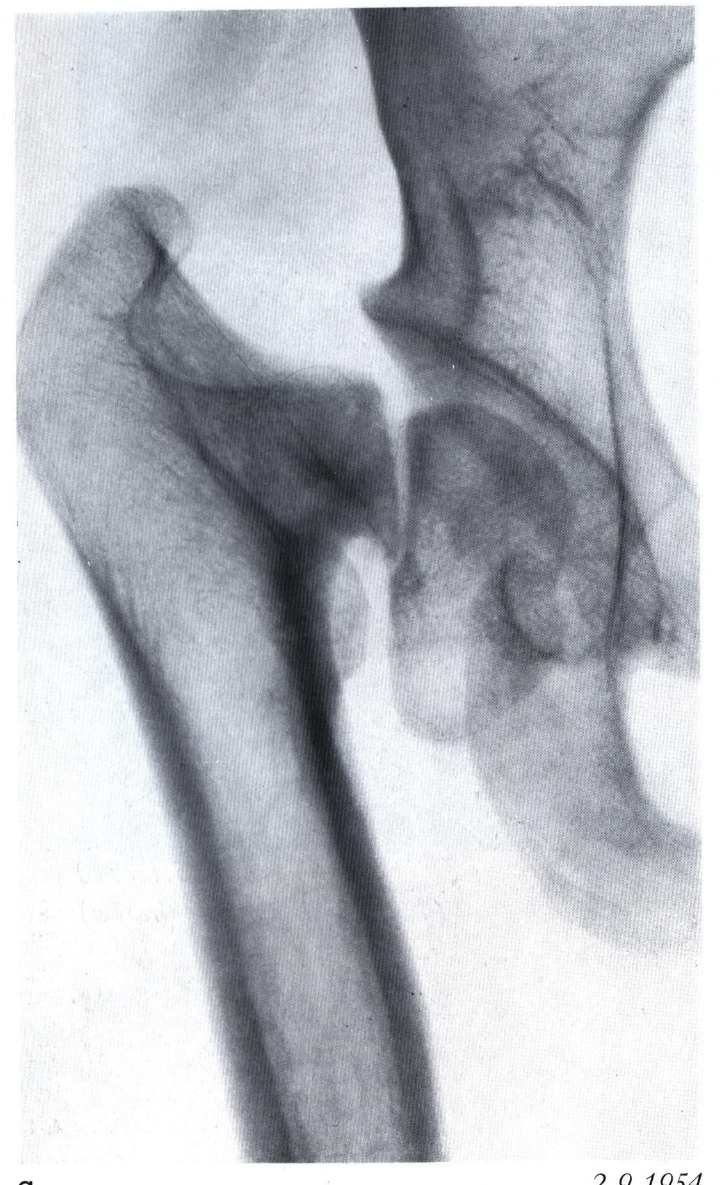


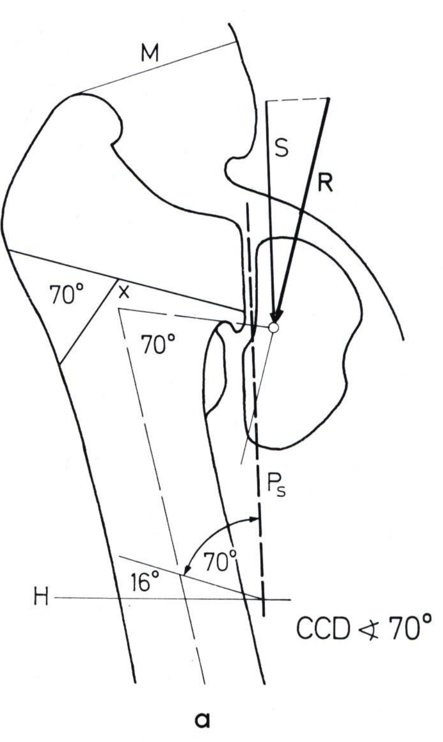
Fig. 93a et b



a *2.9.1954* b *2.4.1957 (2 ans 6 mois après l'opération)*

Fig. 94a et b
L.K., ♀, née le 19.9.1937,
Opération le 21.9.1954
(à l'âge de 17 ans)

Après la fin de la croissance, dans la coxa vara congénitale, l'insuffisance statique congénitale de l'extrémité supérieure du fémur est pratiquement guérie. A ce moment, le traitement de la déformation existante ou de la pseudarthrose consiste en interventions chirurgicales destinées à restituer la forme nécessaire à la fonction (fig. 94–99).



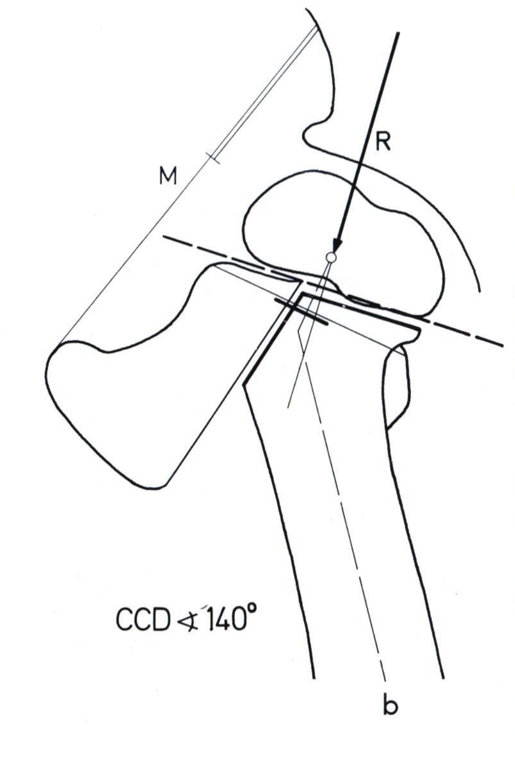
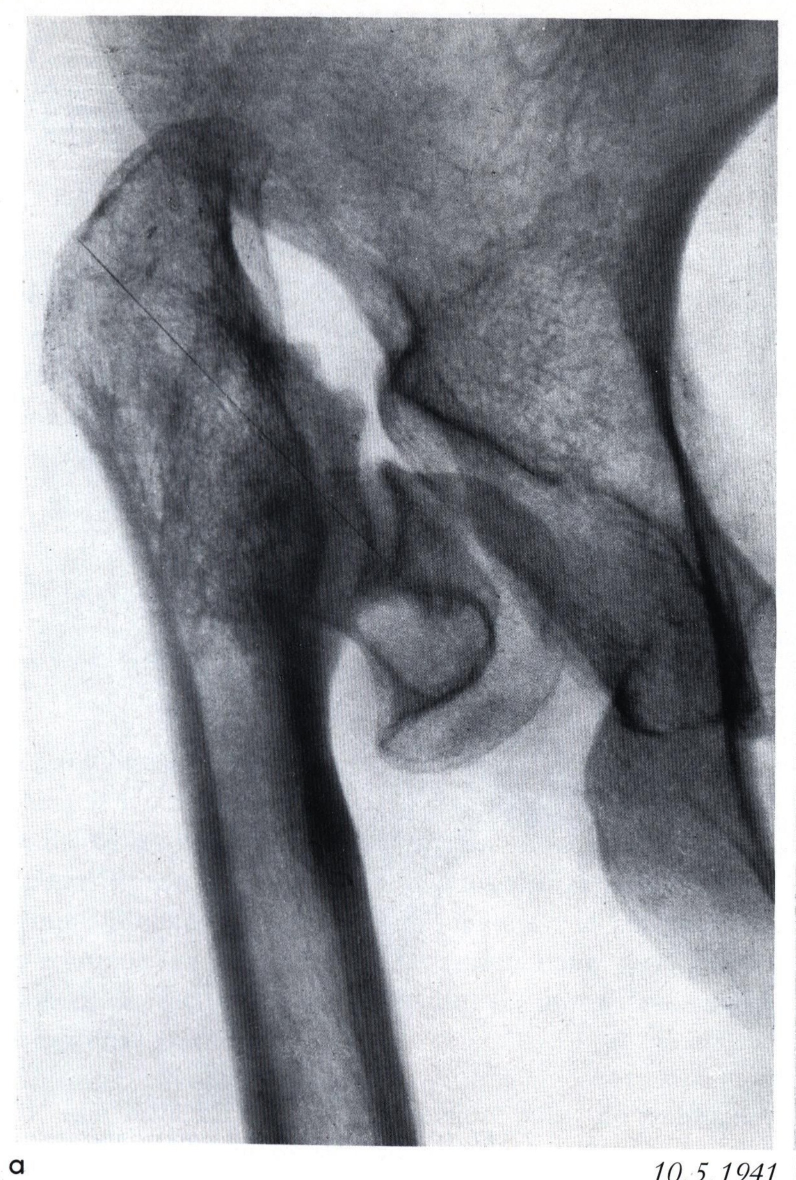


Fig. 95a et b



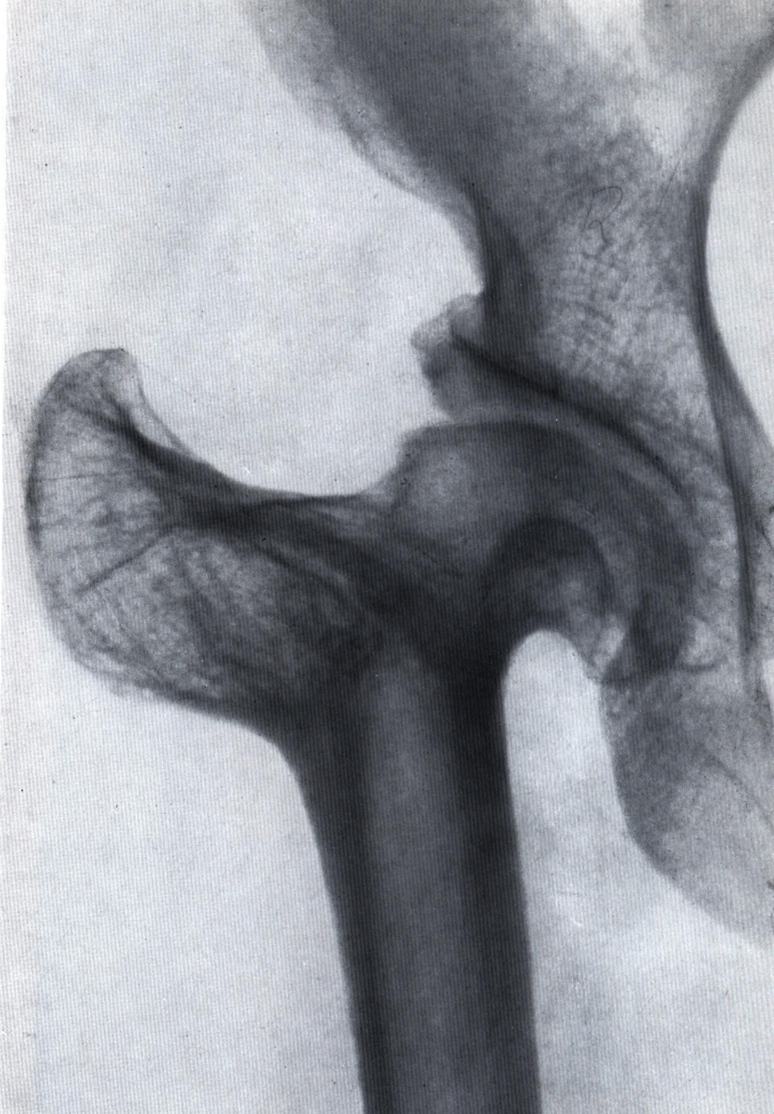


Fig. 96a et b
M.C., ♀, née le 19.6.1918,
Opération le 12.5.1941
(à l'âge de 23 ans)

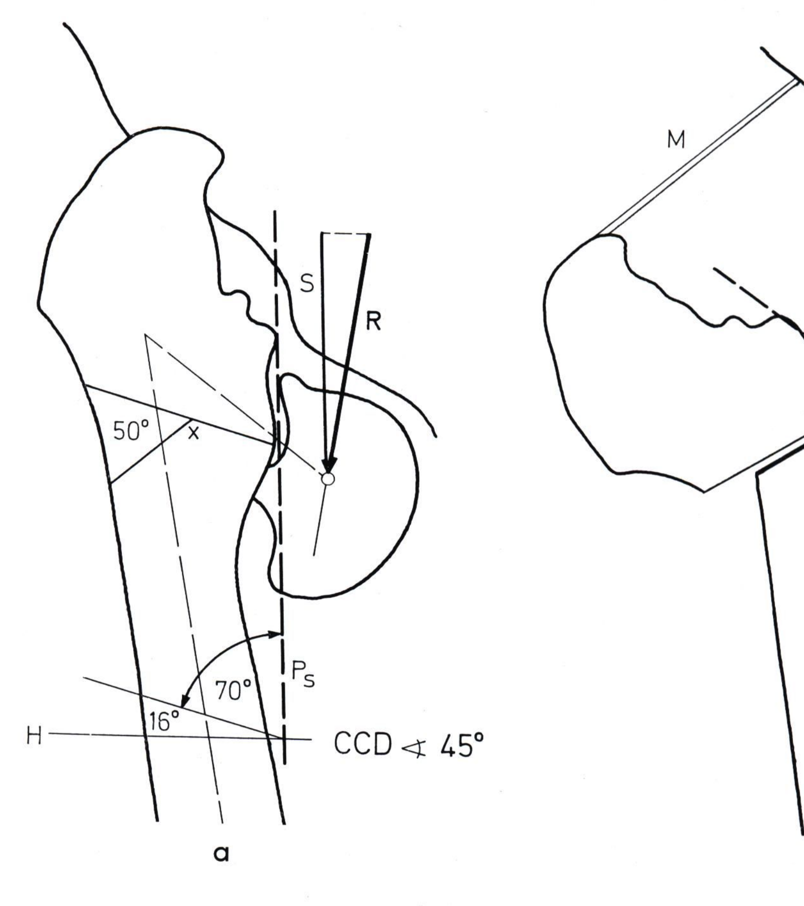
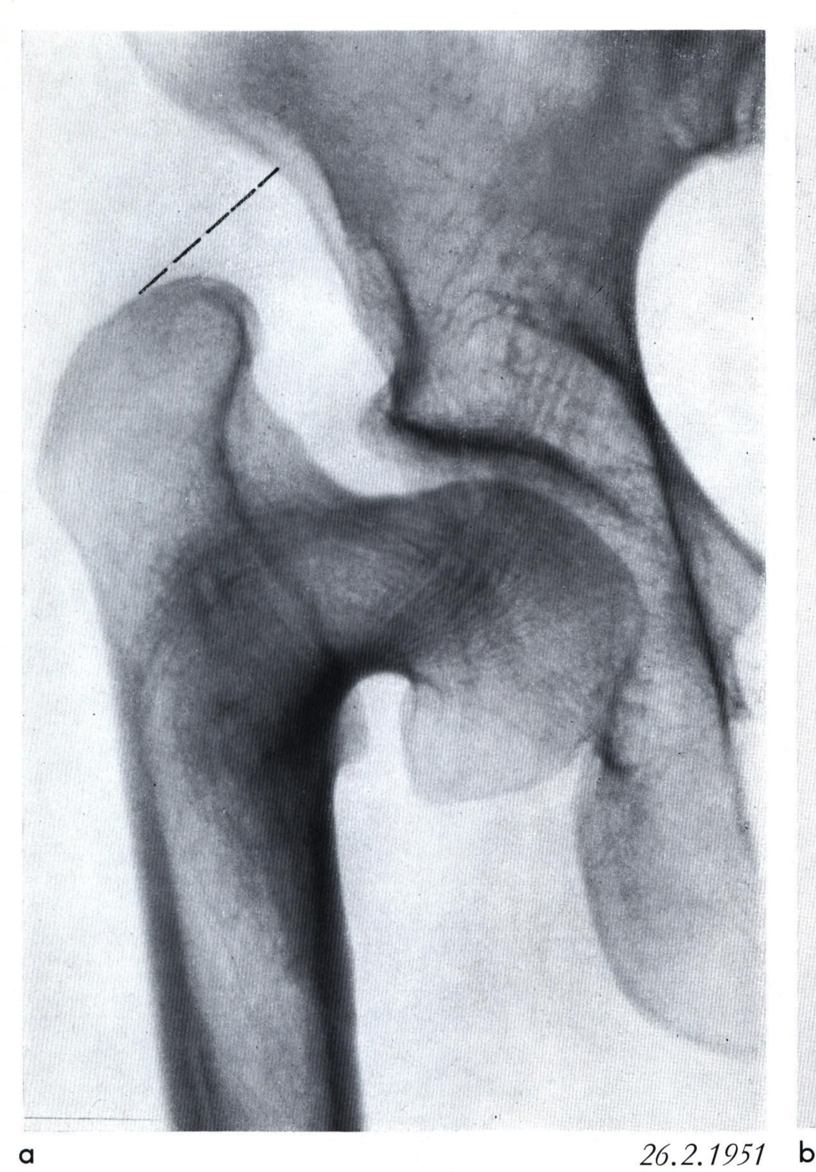
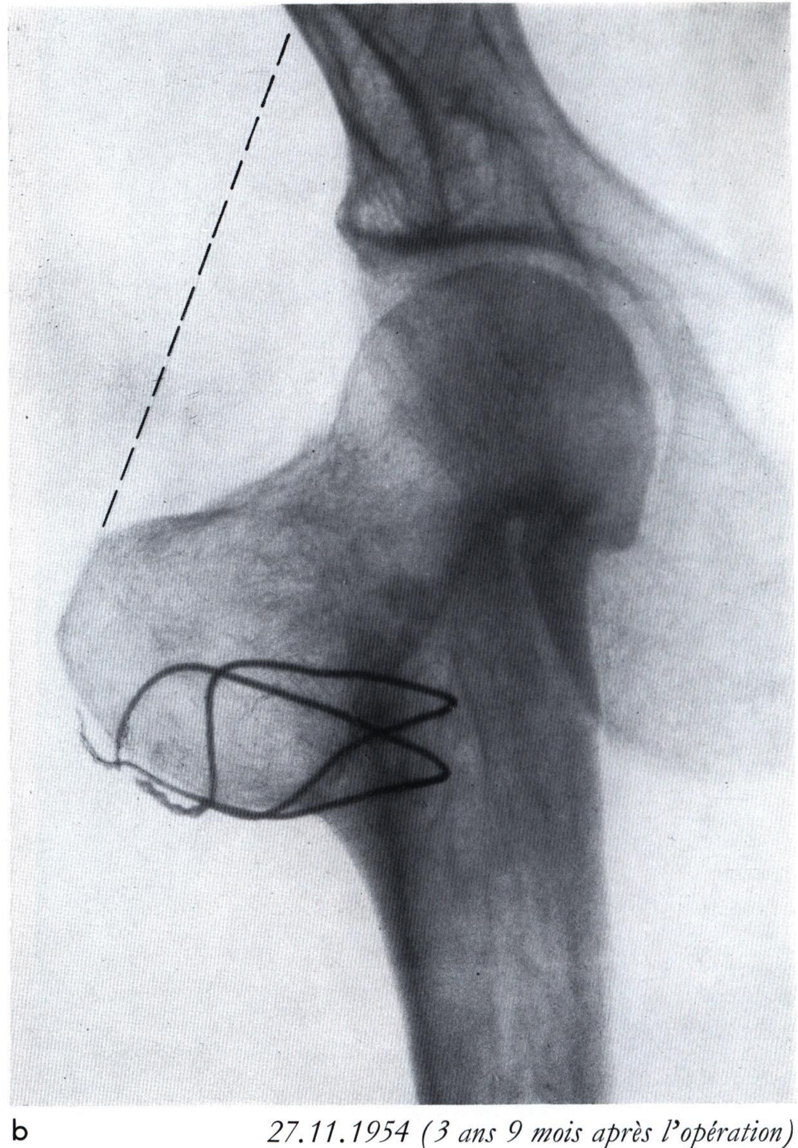


Fig. 97a et b



a 26.2.1951



b *27.11.1954 (3 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 98a et b
W.D., ♂, né le 12.1.1910,
Opération le 27.2.1951
(à l'âge de 41 ans et 6 mois)

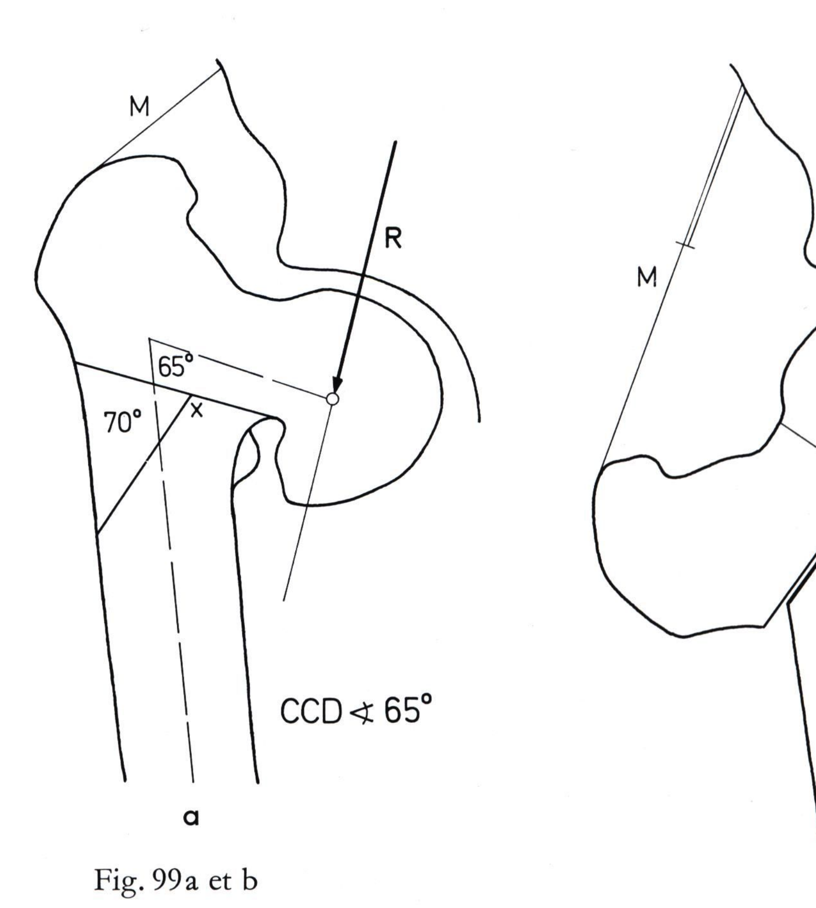


Fig. 99a et b

Chez le patient fig. 98 et 99, les abducteurs, fortement rétractés, n'ont pas été chirurgicalement allongés. Après l'ostéotomie en coin, le membre a été immobilisé en abduction maximale par un plâtre pelvi-pédieux, jusqu'à consolidation. La mise en charge lors de la marche a progressivement fait rétrocéder la contracture au cours de l'année suivante.

B. Pseudarthrose du col fémoral

Jusqu'en 1927, la pseudarthrose du col fémoral était pratiquement incurable (*M. Lange*, 1951)[27]. C'est la première affection pour laquelle j'ai cherché à expliquer l'influence de la sollicitation mécanique sur la guérison de la fracture et à en tirer les conséquences en vue d'un traitement causal (*Pauwels*, 1935)[28].

1. Influence de la qualité de la sollicitation mécanique sur la guérison de la fracture

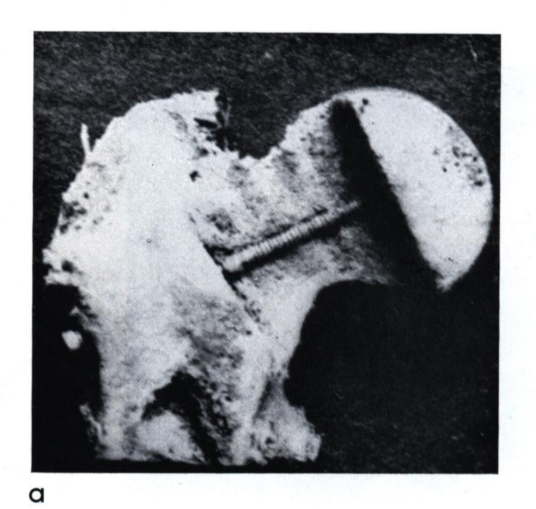
La fracture du col fémoral se consolide par un cal médullaire. Il n'y a pas de cal périosté qui pourrait modifier la sollicitation mécanique du foyer de fracture. Par conséquent, le processus de réparation nous indiquera sans équivoque l'influence qu'exerce la qualité de la sollicitation mécanique sur la formation des tissus au cours de la guérison de la fracture. Il apprend que, en concordance avec les connaissances théoriques:

1. une sollicitation en compression pure, de grandeur supportable, favorise la formation de cal osseux.
2. une sollicitation en traction la freine car la formation d'os à partir de tissu fibreux ne progresse que très lentement.
3. une sollicitation en cisaillement est nuisible. Elle empêche la formation de tissu osseux parce qu'elle tiraille de façon intermittente le canevas tissulaire du foyer de fracture[29].

Les deux premières affirmations sont confirmées par la préparation d'une fracture du col fémoral type 2, guérie, où un boulonnage a supprimé la sollicitation en cisaillement (fig. 100a)[30]. (Le patient, âgé de 68 ans, mourut 2 ans après l'opération, d'une maladie intercurrente).

Comme le montre le dessin fig. 100b, avant le boulonnage la fracture était sollicitée en cisaillement (*S*) et en flexion (*D* et *Z*) par la force de compression résultante *R*. Dans cette sollicitation combinée, c'est le cisaillement (*S*) qui est décisif car il empêche la guérison par cal osseux. Pour indiquer que les contraintes supplémentaires de compression et de traction provenant de la flexion n'exercent aucune influence essentielle sur la guérison osseuse, leur diagramme est laissé clair.

Le boulonnage a supprimé le cisaillement (*S*) (fig. 100c), de sorte que maintenant les contraintes de compression et de traction provenant de la flexion peuvent exercer leur influence spécifique sur la formation des tissus. C'est ce que signifie le diagramme hachuré.



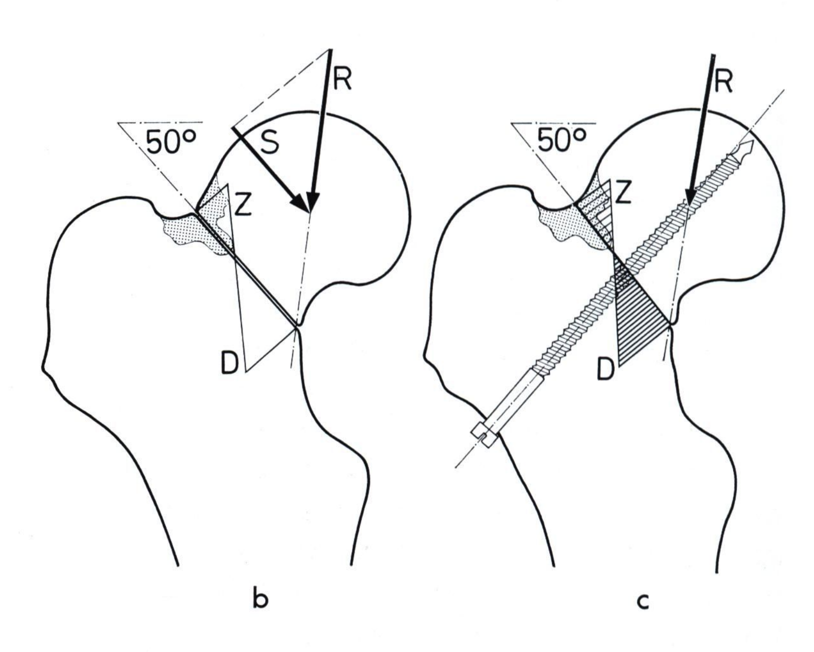


Fig. 100a–c

27 « Ce fut une grande surprise de constater que, uniquement par la modification des conditions statiques, la pseudarthrose du col du fémur, considérée comme pratiquement incurable jusqu'alors, pouvait guérir » (*M. Lange :* Orthopädisch-chirurgische Operationslehre, p. 526. München: Bergmann 1951).

28 *Pauwels, F. :* Der Schenkelhalsbruch, ein mechanisches Problem. Beilageheft Z. orthop. Chir. **63** (1935). — Ges. Abh. zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates, p. 1–138. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965.

29 Voir note 2 en bas de page 5.

30 Voir note 28.

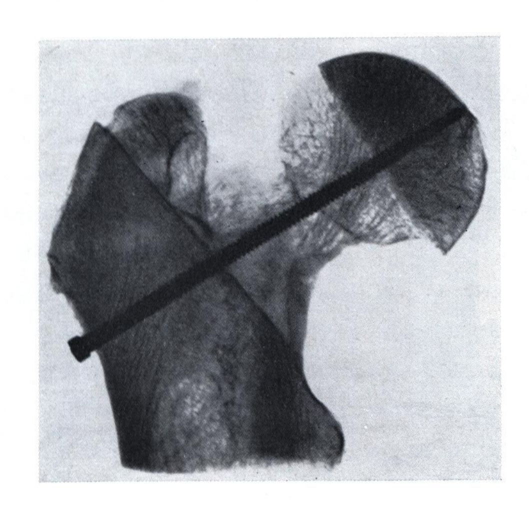


Fig. 100d

La radiographie de la préparation (fig. 100d) montre que, dans la partie médiale du foyer de la fracture boulonnée, là où après élimination du cisaillement, agissent les contraintes de compression (*D*) dues à la flexion, il s'est formé une solide liaison osseuse avec structure continue. Dans la partie latérale du foyer de fracture où s'exercent les contraintes de traction (*Z*) dues à la flexion, on ne voit encore aucune formation osseuse. Comme l'indique la préparation histologique (fig. 100e), dans la région des contraintes de traction il s'est formé un canevas à partir des fibrilles collagènes disposées dans le sens de la traction. Dans ce canevas le dépôt de tissu osseux ne progresse que très lentement, comme toujours lors de la formation d'os à partir de tissu fibreux.

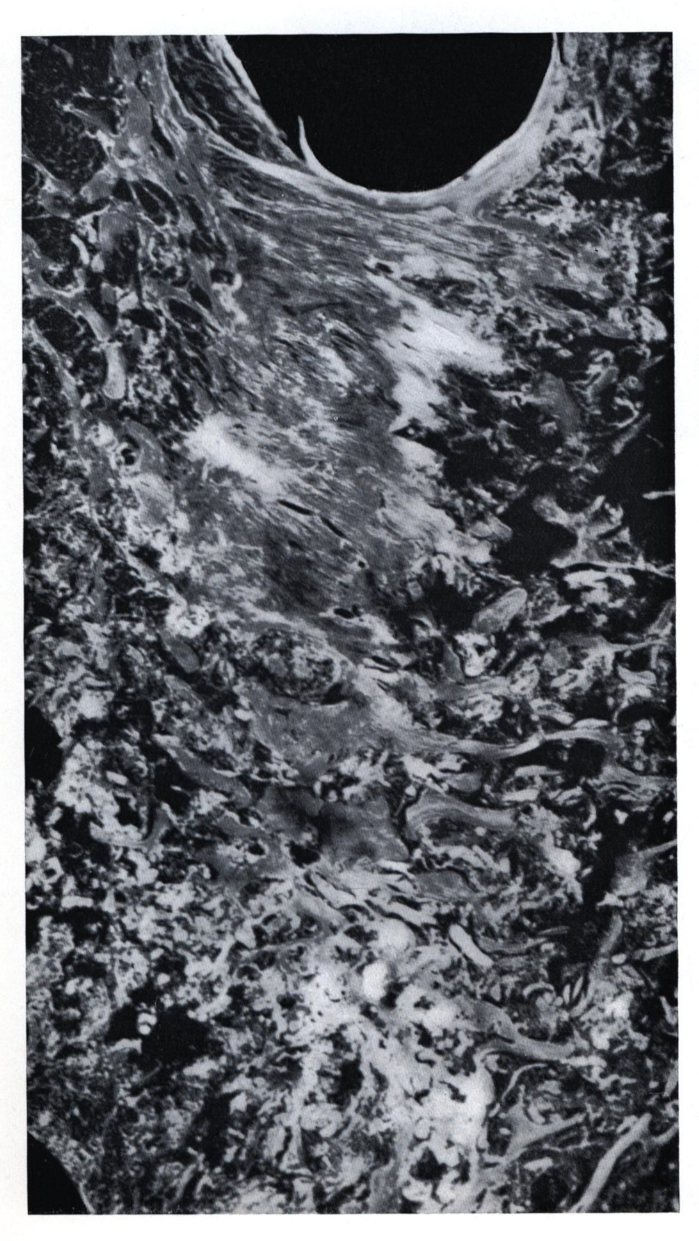


Fig. 100e

2. Classification des fractures du col fémoral d'un point de vue biomécanique

Dans la fracture du col fémoral, l'orientation du foyer de fracture détermine la sollicitation des tissus de réparation. Plus les surfaces fracturaires sont inclinées, plus grande est la sollicitation en cisaillement (*S*). Celle-ci étire le tissu entre les fragments et provoque la formation d'une cicatrice conjonctive. C'est en se basant sur ce fait que, dans ma monographie (*Pauwels*, 1935)[31], j'ai divisé les fractures du col fémoral en 3 groupes quant à leurs perspectives de guérison (fig. 101a–c).

Dans les fractures de type 1, les surfaces fracturaires sont à peu près perpendiculaires à la force de compression résultante. Aucune force de cisaillement n'agit, qui pourrait compromettre la guérison (fig. 101a). Un simple enclouage suffit à fixer les fragments.

Dans les fractures de type 2, l'inclinaison des surfaces fracturaires sur l'horizontale peut atteindre environ 50°. La guérison osseuse est compromise par une sollicitation en cisaillement (*S*) (fig. 101b). Une thérapeutique causale doit supprimer l'action du cisaillement. Dans ce but, un enclouage correct constitue la méthode de choix, qu'il soit percutané ou à ciel ouvert. Le clou ou le boulon sont les moyens techniques utilisés pour empêcher le glissement de deux surfaces l'une contre l'autre. Après élimination du cisaillement, les chances de guérison sont d'autant plus élevées que la partie des surfaces fracturaires sollicitée en compression est plus grande.

Dans les fractures de type 3 (fig. 101c), les surfaces fracturaires sont très inclinées. La sollicitation en cisaillement est tellement élevée que c'est à peine si un double enclouage, exact, donne une chance de succès (fig. 102a–c). En effet: 1. deux clous peuvent éliminer la sollicitation en cisaillement de façon plus sûre et surtout plus durable qu'un seul clou (fig. 103a et b) et 2. après suppression du cisaillement, grâce au double enclouage, une partie beaucoup plus étendue des surfaces fracturaires se trouve sollicitée en compression pure (*D*) qu'après l'utilisation d'un seul clou. Les diagrammes le montrent. Ceci ne vaut toutefois que si le clou supérieur est logé très près de la corticale latérale. Il faut aussi que les fragments soient très exactement réduits, physiologiquement impactés[32] (fig. 102a–c) et déchargés complètement durant au moins 3 mois.

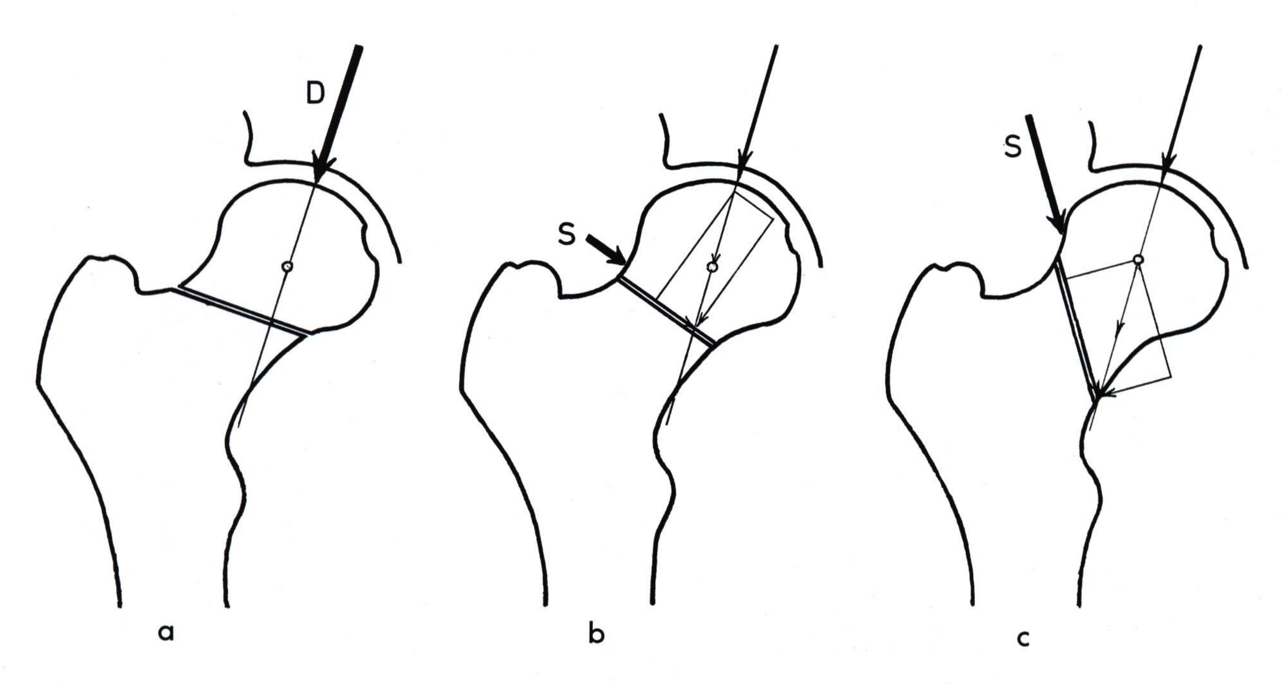


Fig. 101 a–c

31 Voir note 28 en bas de page 81.

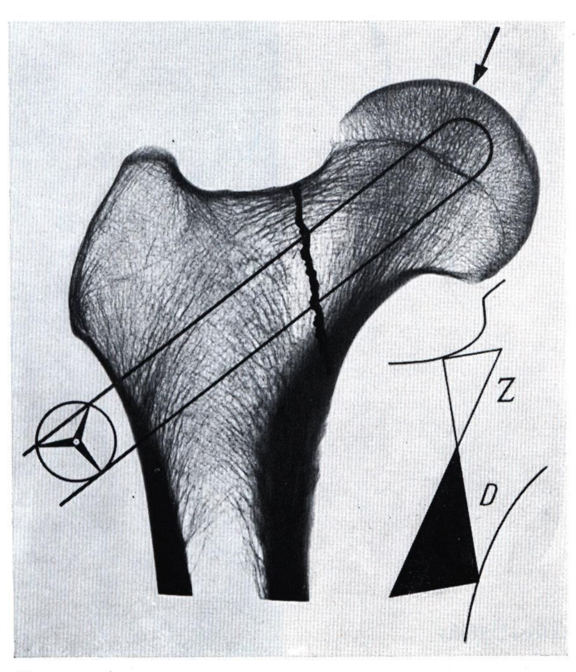
32 *Pauwels, F.:* Spätfolgen der Schenkelhalsfraktur. Hefte Unfallheilk., H. 45, Ber. Unfallchir. Tagg., Stuttgart 1952, p. 22–45. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1953.

70°

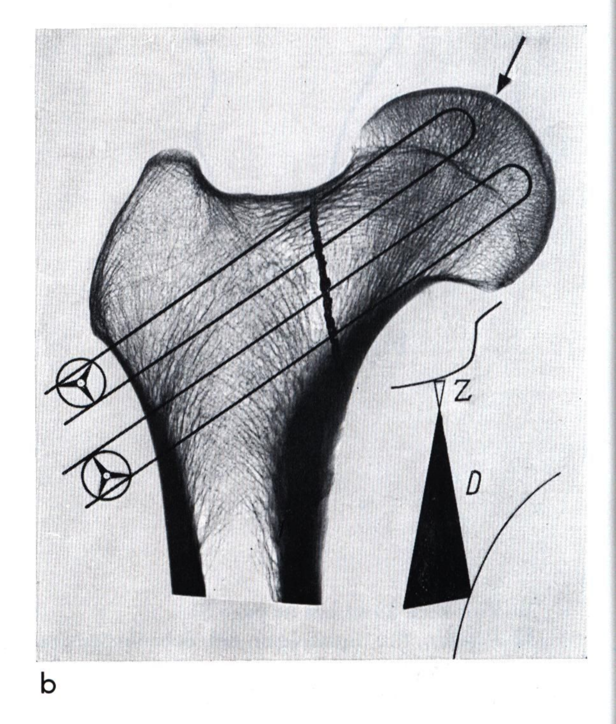
a *29.1.1957* b *30.6.1957* c *30.6.1957*

Fig. 102a–c
M.D., ♀, née en 1891, Fracture le 17.1.1957

Double enclouage sous anesthésie locale le 29.1.1957,
Impaction physiologique (Pauwels),
Décharge complète durant 3 mois



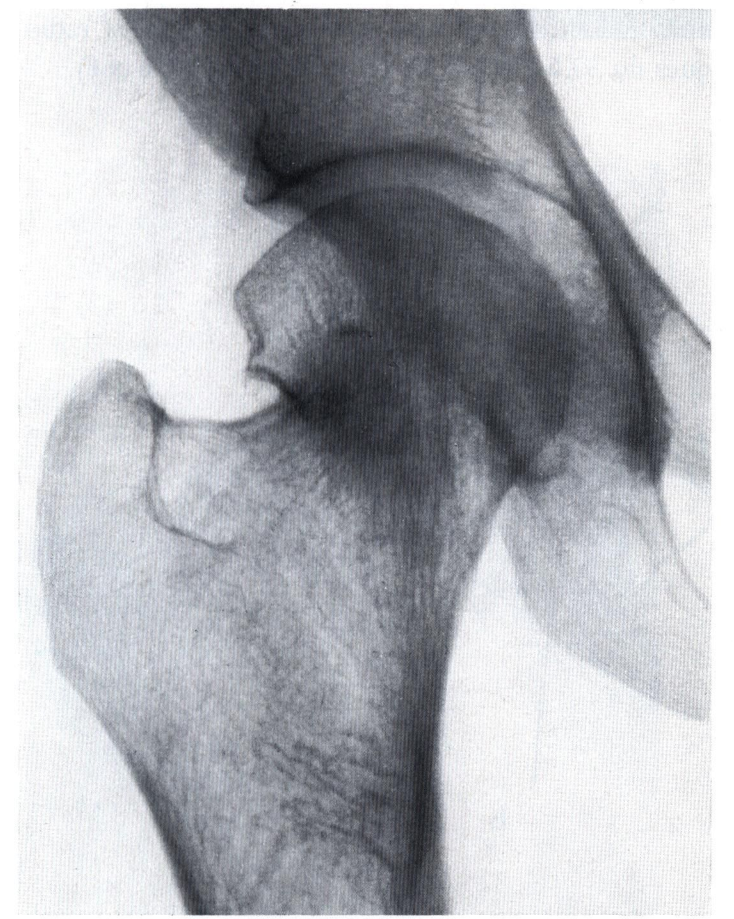
a



b


Fig. 103a et b

a *28.11.1951 (côté sain)*



b *28.11.1951 (1 an après l'accident)*

Fig. 104a et b

K.O., ♀, née le 15.3.1913

Accident le 20.12.1950, côté droit, Repos au lit 14 jours, 2 mois après l'accident marche sans cannes, sans boîter

3. Cas particulier de la fracture en abduction

Parmi les fractures de type 1, celle en abduction représente un cas particulier (fig. 104b).

1. En effet, elle est habituellement engrenée. De la sorte, comme tout engrènement, celui-ci fournit un canevas osseux au repos dans lequel du tissu osseux peut immédiatement se déposer.
2. D'autre part, l'abduction du fragment capital et l'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire qu'elle entraîne amènent la force de compression résultante (*R*) dans le noyau du col (fig. 105b). De cette façon, la sollicitation en flexion surajoutée est tellement réduite qu'il ne reste plus que de petites contraintes de compression dans le col fémoral (comparer le diagramme des contraintes dans le schéma du côté sain fig. 105a et dans la fracture en abduction fig. 105b).
3. Le déplacement discret du fragment capital en abduction ne modifie pratiquement pas la capacité fonctionnelle du membre après guérison.

La fracture engrenée en abduction ne requiert aucun traitement spécial. Le repos au lit durant environ 3 semaines suffit. La hanche est ensuite partiellement déchargée par l'utilisation, durant quelques mois, d'une canne-béquille du côté opposé. Ce serait une faute contre l'art de réduire une fracture en abduction ou même de l'enclouer car l'impaction du clou peut désengrener les fragments et ainsi, au minimum, retarder fortement la guérison osseuse.

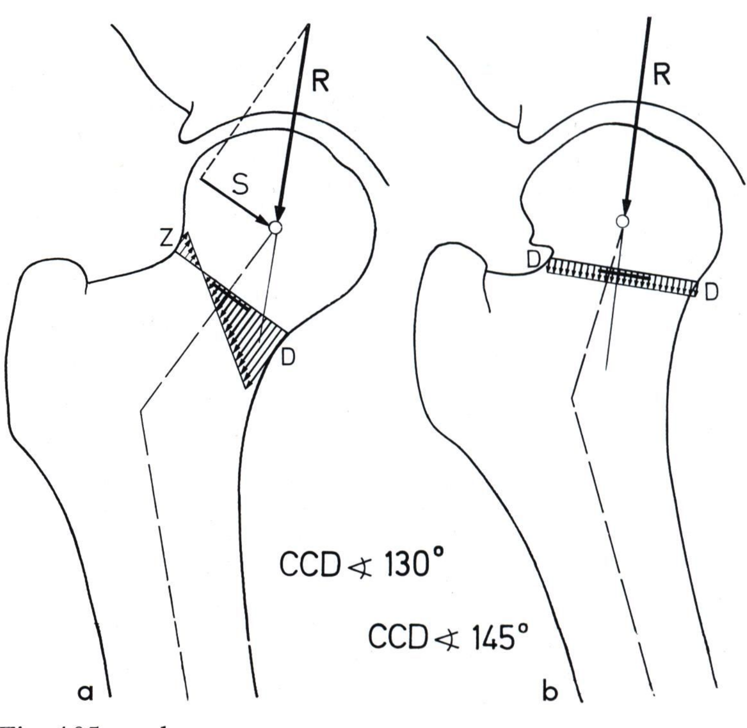


Fig. 105a et b

4. Thérapeutique causale de la pseudarthrose du col fémoral par modification de la qualité de la sollicitation mécanique

La pseudarthrose du col fémoral s'observe le plus souvent après des fractures du type 3. Elle se caractérise généralement par une inclinaison très forte du foyer de fracture et ainsi par une sollicitation très élevée en cisaillement. Dans la plupart des cas, elle s'accompagne d'une élévation du trochanter et d'un raccourcissement du col fémoral.

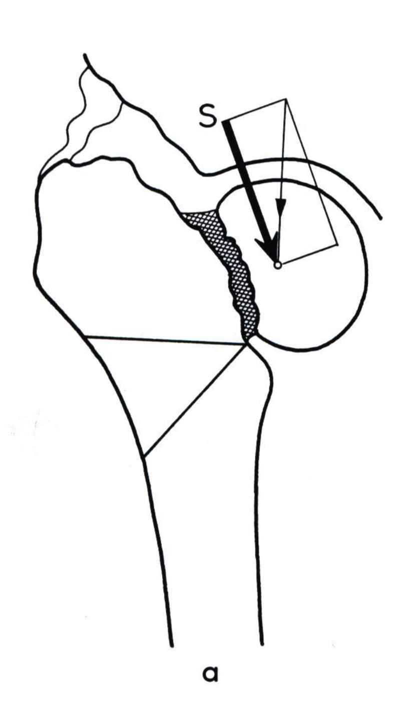
Contrairement à ce qui se passe dans la fracture fraîche, dans la pseudarthrose du col fémoral l'élimination du cisaillement ne permet plus d'obtenir la guérison osseuse parce que le tissu de granulation situé entre les fragments s'est déjà différencié en une cicatrice conjonctive sous l'effet de la sollicitation en cisaillement (étirement).

a) Réorientation des surfaces fracturaires par ostéotomie intertrochantérienne cunéiforme

La guérison osseuse d'une pseudarthrose ne peut sûrement s'obtenir que par un changement de la qualité de la sollicitation mécanique. La sollicitation en cisaillement (*S*) doit être transformée en sollicitation en compression pure (*D*) par une ostéotomie cunéiforme intertrochantérienne qui rend les surfaces fracturaires perpendiculaires à la force de compression résultante. La fig. 106 l'illustre de façon simplifiée.

Grâce à cette «réorientation» des surfaces fracturaires, j'ai pour la première fois en 1927, et bientôt après dans deux autres cas, démontré que la pseudarthrose du col fémoral peut guérir même après des années et cela uniquement par modification de la sollicitation mécanique.

Le premier patient chez qui j'ai réorienté les surfaces fracturaires 9 mois après l'accident était un ardoisier de 17 ans (fig. 107a–f). Les figures 107c et d illustrent la situation 9 mois après l'opération. Jusqu'à présent (44 ans après la réorientation), le patient ne se plaint d'aucune douleur et est resté complètement apte à son travail. La hanche a gardé des mouvements pratiquement complets. Ce résultat fonctionnel correspond aux remarquables images radiologiques du 30.6.1948 et du 28.5.1971 (fig. 107e et f).



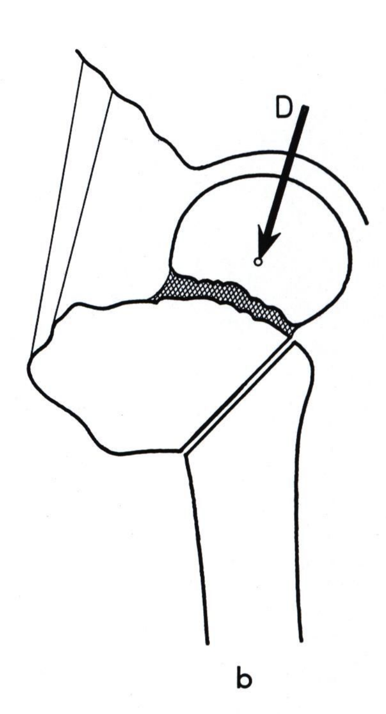
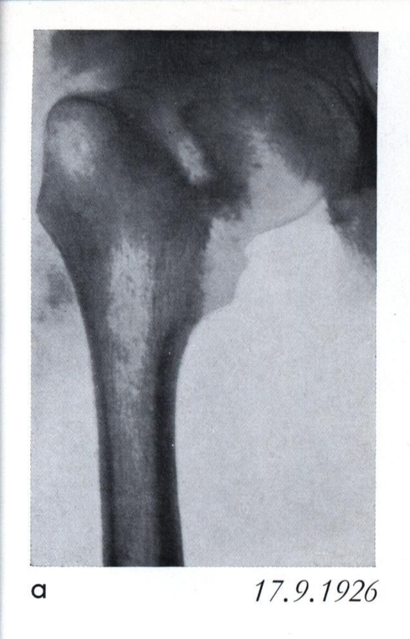
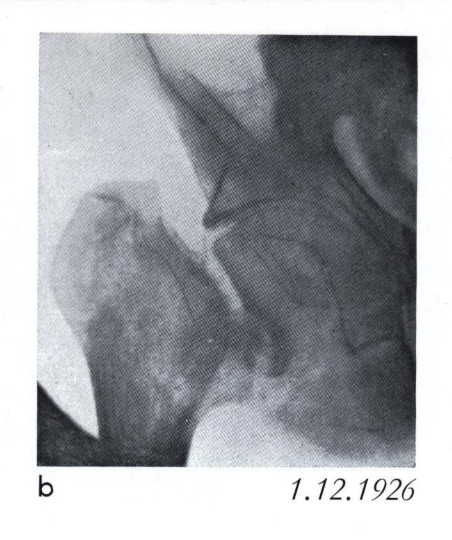



Fig. 106a et b



a *17.9.1926*



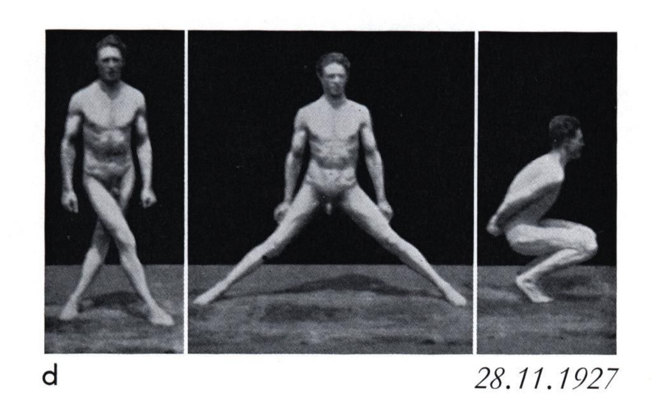
b *1.12.1926*



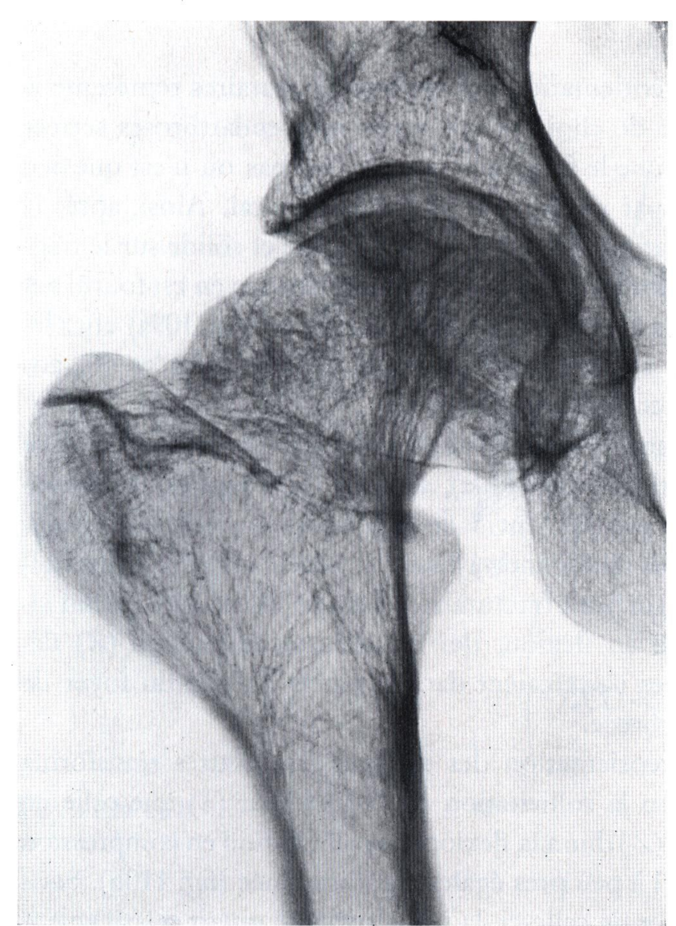
c *28.11.1927*

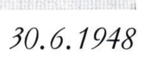
Fig. 107 a–f

P.N., ♂, né le 20.9.1907,
Accident le 6. 6. 1926,
Opération le 25.2.1927
(9 mois après l'accident)

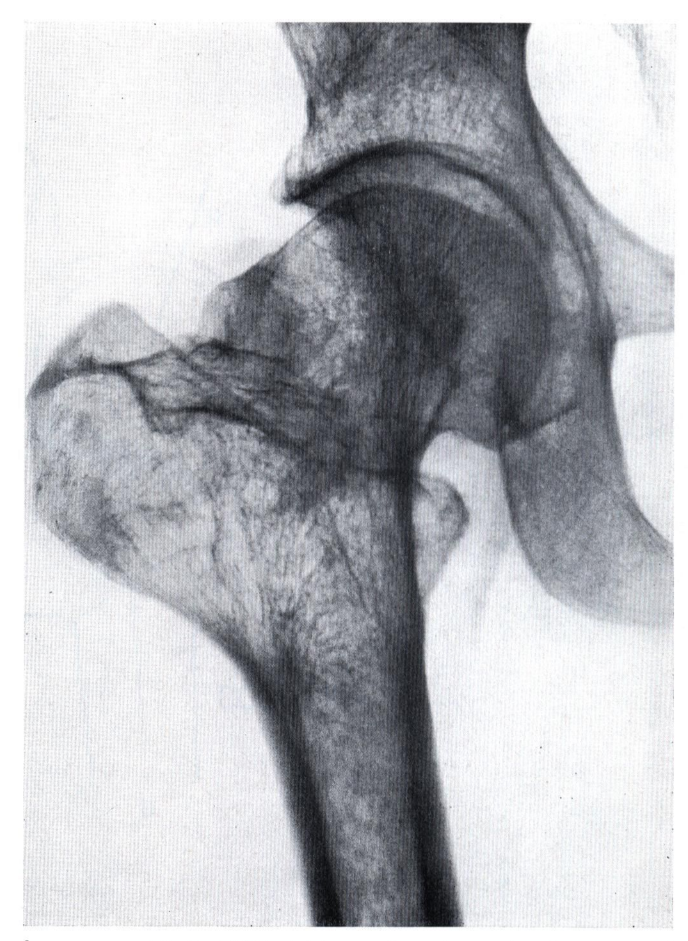


d *28.11.1927*



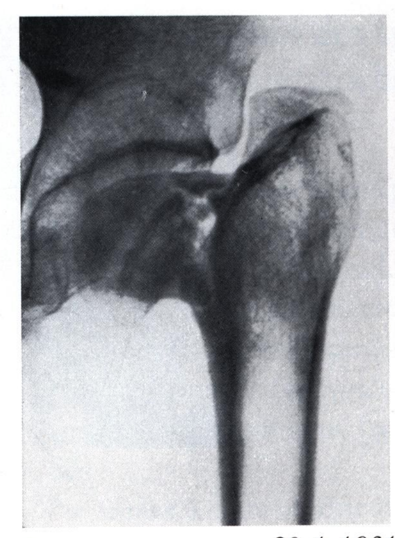


e *30.6.1948*

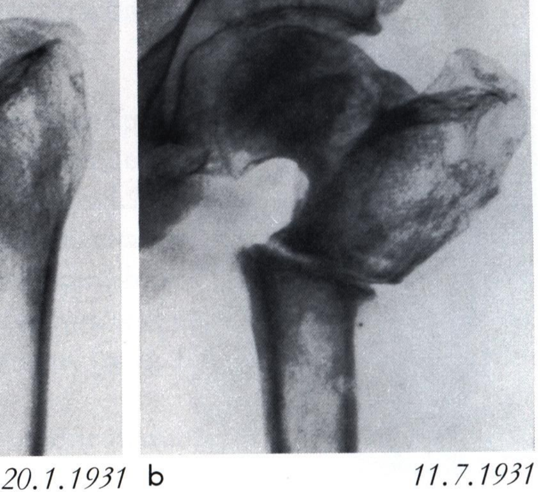


f *28.5.1971 (44 ans 3 mois après l'opération)*

Chez le deuxième patient, un ouvrier agricole de 21 ans, la réorientation ne fut réalisée que 2 ans et $7^1/_2$ mois après l'accident. La pseudarthrose guérit plus rapidement que le foyer d'ostéotomie (fig. 108a et b).



a *20.1.1931*



b *11.7.1931*
($5^1/_2$ mois après l'opération)

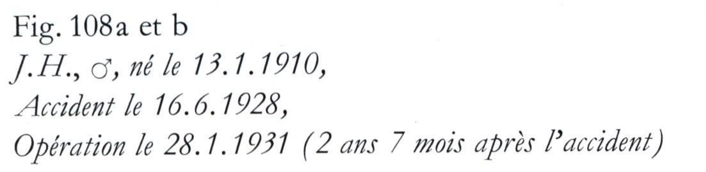


Fig. 108a et b
J.H., ♂, né le 13.1.1910,
Accident le 16.6.1928,
Opération le 28.1.1931 (2 ans 7 mois après l'accident)

La réorientation des surfaces fracturaires représente la méthode de choix pour toutes les pseudarthroses serrées et telles que le fragment capital n'est pas ou n'est que peu déplacé par rapport au fragment cervical. Ainsi, après la réorientation, il trouve un appui large et solide sur le fragment cervical. Un exemple caractéristique en est fourni par la pseudarthrose de ce blessé de 41 ans (fig. 109a) chez lequel les surfaces fracturaires ont été réorientées $4^1/_2$ ans après l'accident (fig. 109b).

Comme l'indique l'analyse de la sollicitation dans cette pseudarthrose (fig. 110a), avant la réorientation la composante de cisaillement *S* de la force de compression résultante était très grande à cause de l'inclinaison très prononcée des surfaces fracturaires. Du fait de la sollicitation simultanée en flexion, des contraintes de traction (*Z*) défavorables s'exerçaient dans la partie latérale du foyer de pseudarthrose.

La réorientation des surfaces fracturaires transforma aussi bien la sollicitation en cisaillement (*S*) que celle en traction (*Z*) due à la flexion, en sollicitation en compression pure (*D*) à peu près également distribuée (fig. 110b). Sous l'influence de celle-ci, la pseudarthrose guérit relativement vite (fig. 109c).

a *6. 9. 1944* b *15. 10. 1948* c *28. 11. 1949*
(1 an 3 mois après l'opération)

Fig. 109a–c
O.C., ♂, né le 19.6.1907,
Accident le 24.2.1944,
Opération le 24.8.1948 ($4^1/_2$ ans après l'accident)

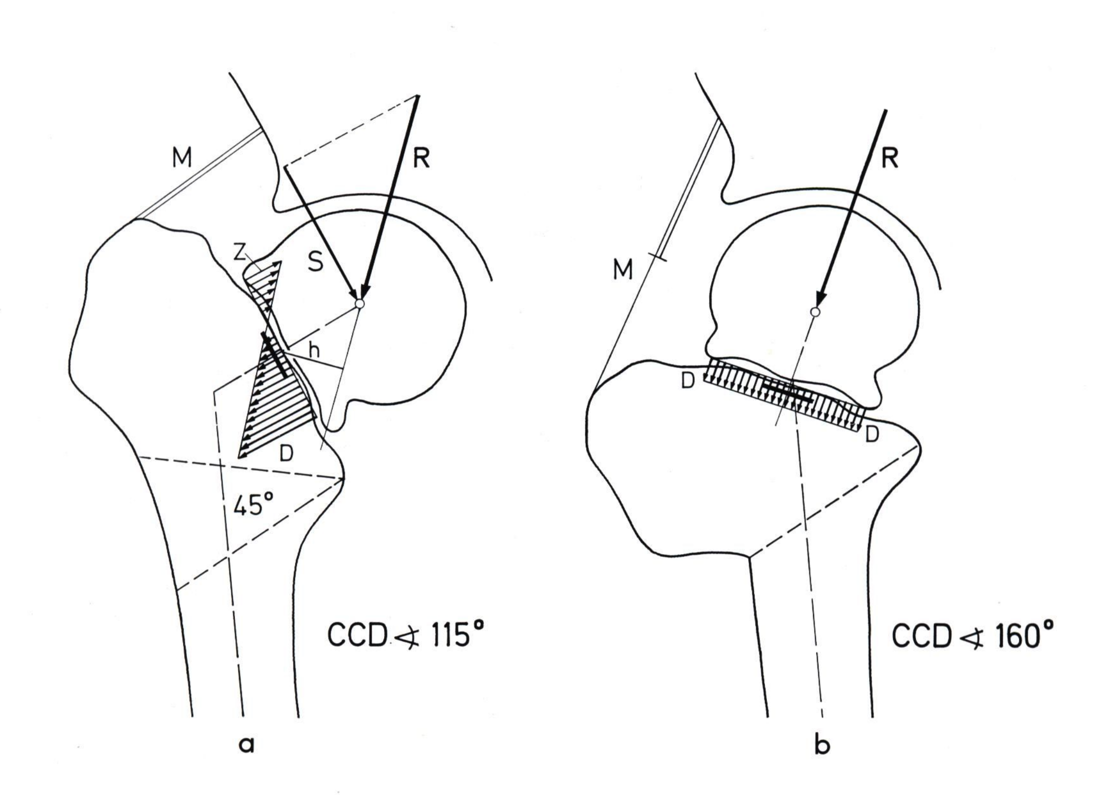


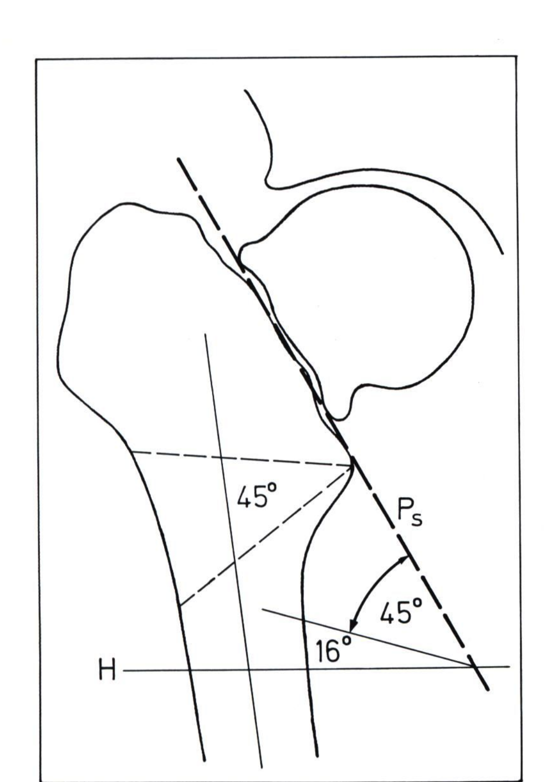
Fig. 110a et b

b) Préparation et technique opératoire de l'ostéotomie de réorientation

La préparation de la réorientation sera illustrée par le cas fig. 109. Elle se base sur une radiographie de la hanche, avec une rotation du membre telle que le trait de pseudarthrose apparaît clairement (fig. 109a). Le rayon doit être bien centré sur l'articulation coxo-fémorale. Cette technique de prise de cliché est indispensable pour obtenir la meilleure projection possible du fragment cervical. A partir de cette image radiographique, on calque exactement les contours, y compris ceux de la pseudarthrose (fig. 111a). Comme dans la coxa vara congénitale, les lignes suivantes sont ensuite tracées:

1. une horizontale (*H*) qui croise la diaphyse fémorale quelques centimètres en dessous du petit trochanter;
2. une ligne pointillée (*Ps*) qui suit l'espace interfragmentaire (dans la coxa vara congénitale, le cartilage épiphysaire) et croise l'horizontale *H*.
3. du point d'intersection de ces deux lignes, une troisième inclinée de 16° sur l'horizontale (et, par là, à peu près perpendiculaire à la force de compression résultante).

L'angle formé par la troisième ligne et la ligne pointillée *Ps* (ici 45°) indique la dimension du coin à réséquer pour rendre le foyer de pseudarthrose perpendiculaire à la force de compression résultante. Ceci



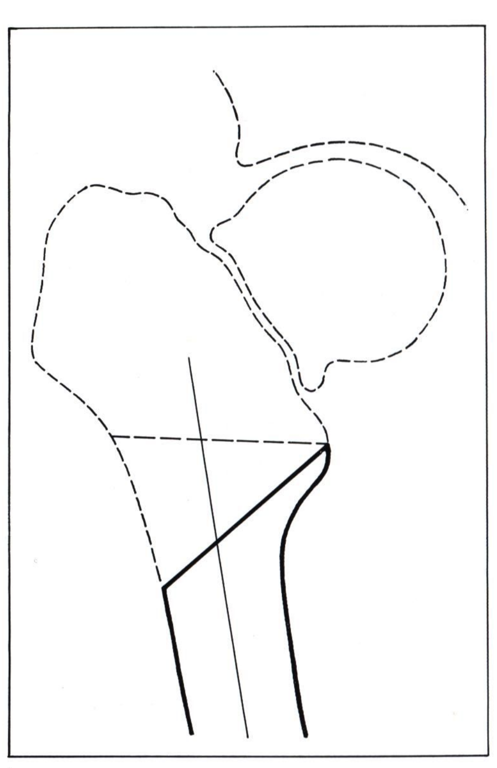
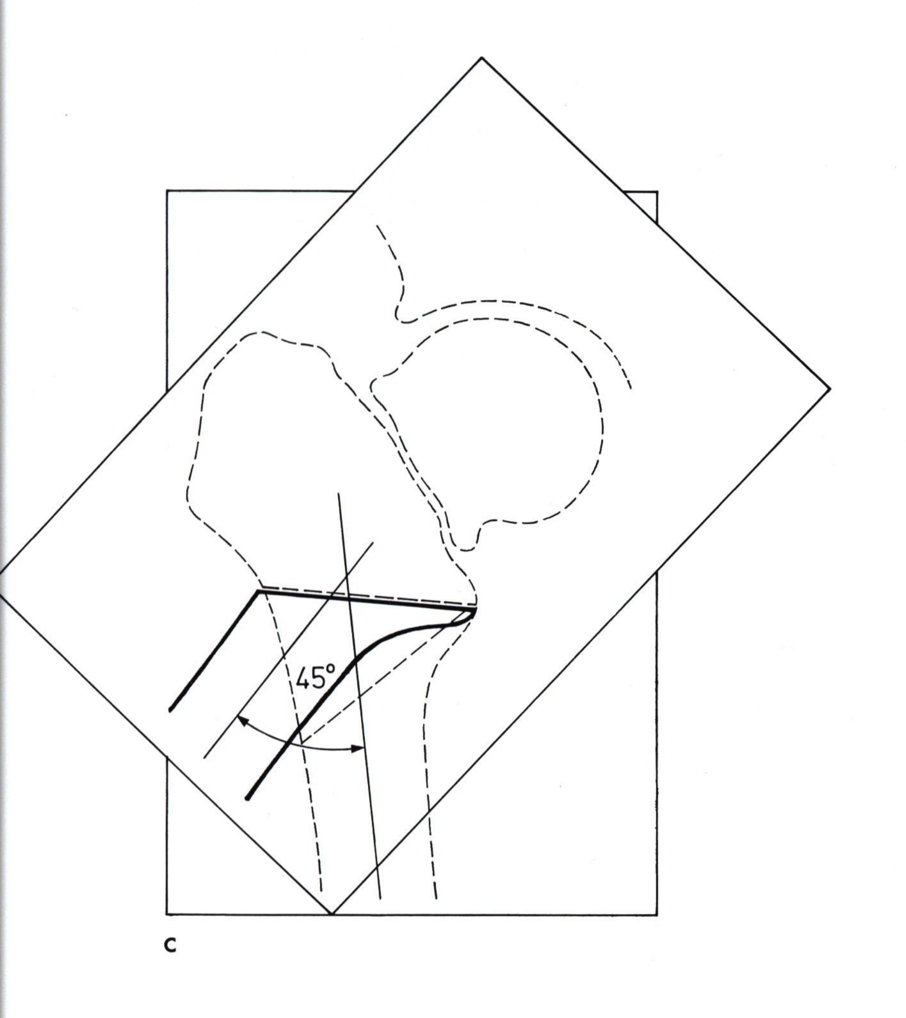


Fig. 111 a–d

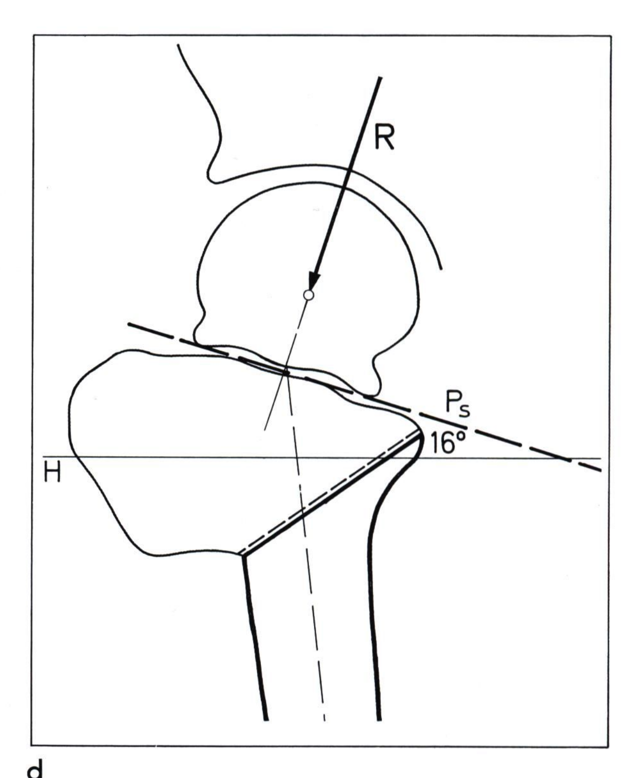
transforme non seulement la sollicitation en cisaillement *S* mais aussi celle en traction *Z* due à la flexion, en une sollicitation en compression pure (fig. 110b).

Lorsque cet angle a été reporté à l'endroit indiqué dans le dessin, une seconde feuille transparente est posée sur la première et le fragment inférieur seul y est d'abord calqué (fig. 111b). La feuille supérieure est ensuite tournée dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que les deux traits d'ostéotomie se recouvrent (fig. 111c). Le fragment supérieur est alors calqué. Enfin la tête fémorale est placée dans son cotyle et celui-ci est à son tour calqué (fig. 111d).

Avant l'ostéotomie cunéiforme, les traits de section déterminés dans le dessin préopératoire, comme d'habitude, sont marqués dans l'os à l'aide de broches de Kirschner introduites sous contrôle radiologique. L'os est sectionné à la scie oscillante suivant les broches. J'ai ensuite toujours fixé les fragments sous compression par un fil métallique formant hauban double (voir p. 62). Pour permettre de mobiliser précocement l'articulation mise prudemment en charge, la mise au repos des fragments, assurée précédemment par un plâtre, a été réalisée ultérieurement par une plaque de *Blount* ou par un clou-plaque dont l'angulation était choisie d'après le dessin préopératoire.



c

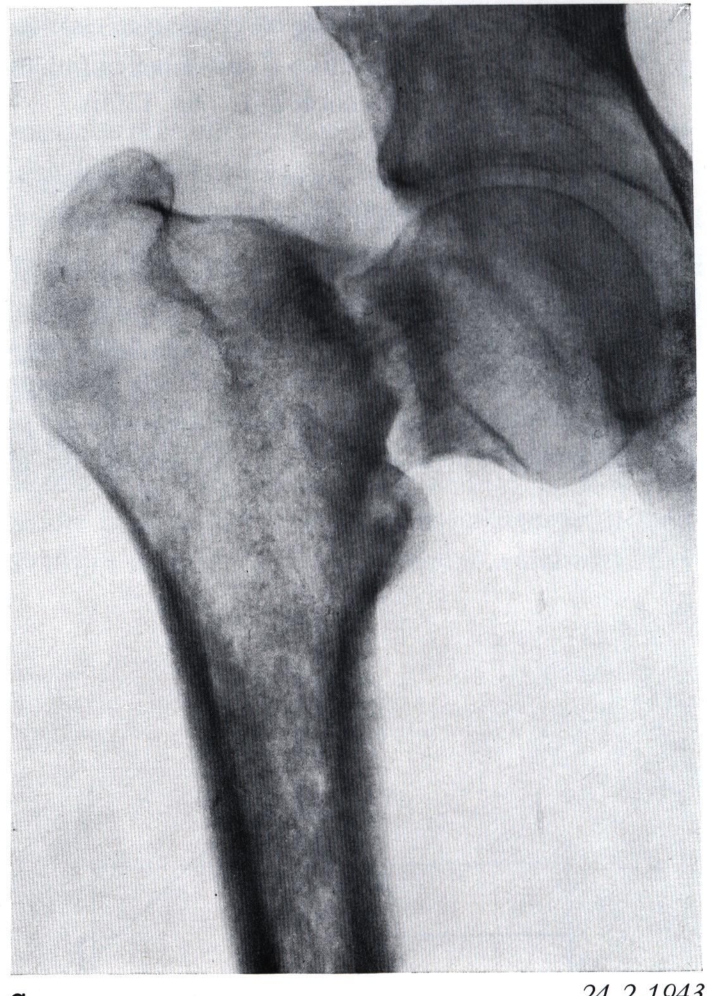


d

Pour appliquer avec sécurité le principe à la base de la réorientation des surfaces fracturaires — la transformation du cisaillement en compression pure —, l'opération doit, dans maint cas, être complétée par des mesures additionnelles.

C'est indispensable par exemple dans les pseudarthroses très lâches ou lorsque, pour d'autres raisons, la position des fragments n'est pas stable après la réorientation, surtout lorsque la réorientation laisse persister une partie de la sollicitation en cisaillement. C'est le cas lorsqu'il n'a pas été possible ou opportun de basculer le foyer de pseudarthrose autant que l'aurait exigé la détermination théorique.

Aussi bien pour assurer la position des fragments que pour éliminer le reste du cisaillement, l'enclouage complémentaire constitue la mesure indiquée en méme temps que la plus simple. En effet, grâce à l'utilisation de l'écran de brillance, l'enclouage ne présente plus de difficultés pour autant qu'il soit réalisé avant la section de l'os (fig. 112–115).



a *24.2.1943*

Fig. 112a–c
M.M., ♂, né le 10.10.1909,
Fracture de fatigue le 26.8.1942,
Opération le 5.3.1943 (6 mois après la fracture)

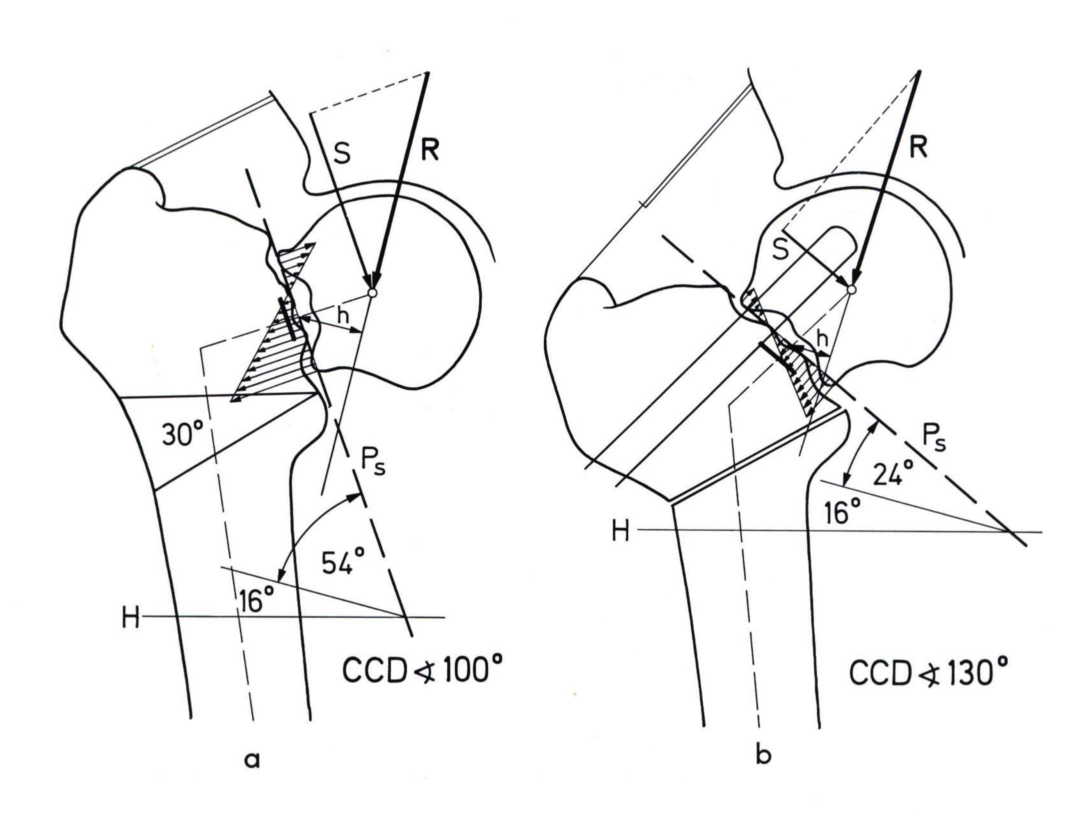
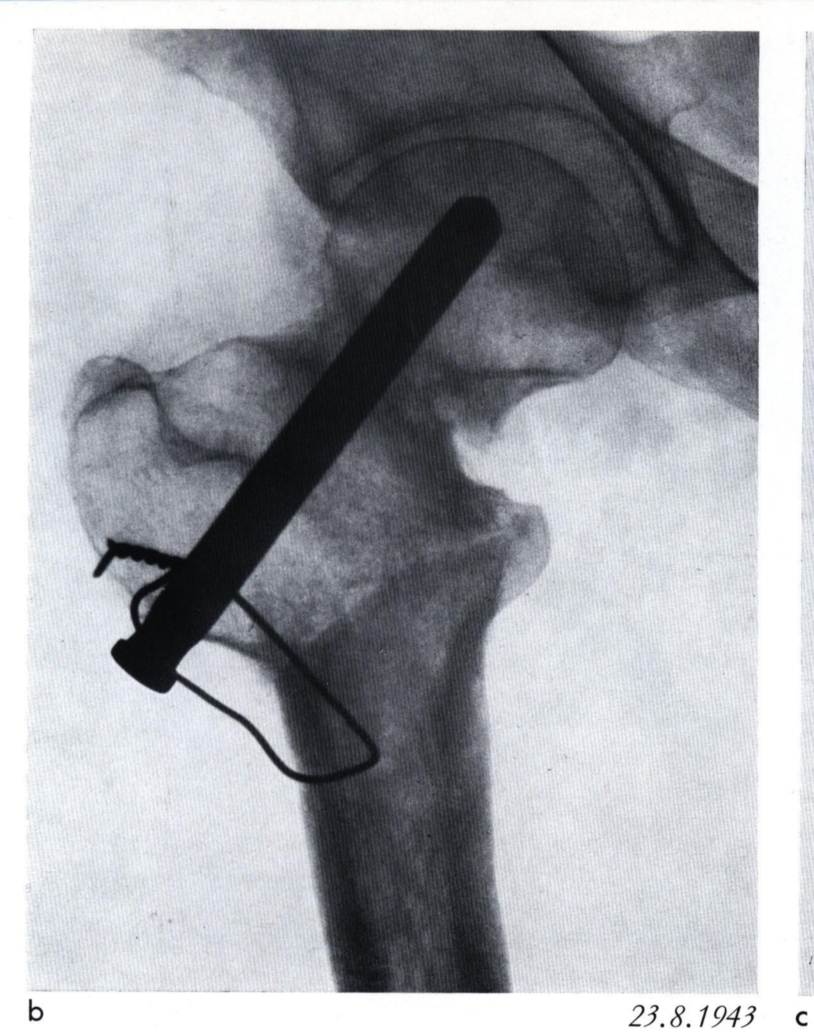
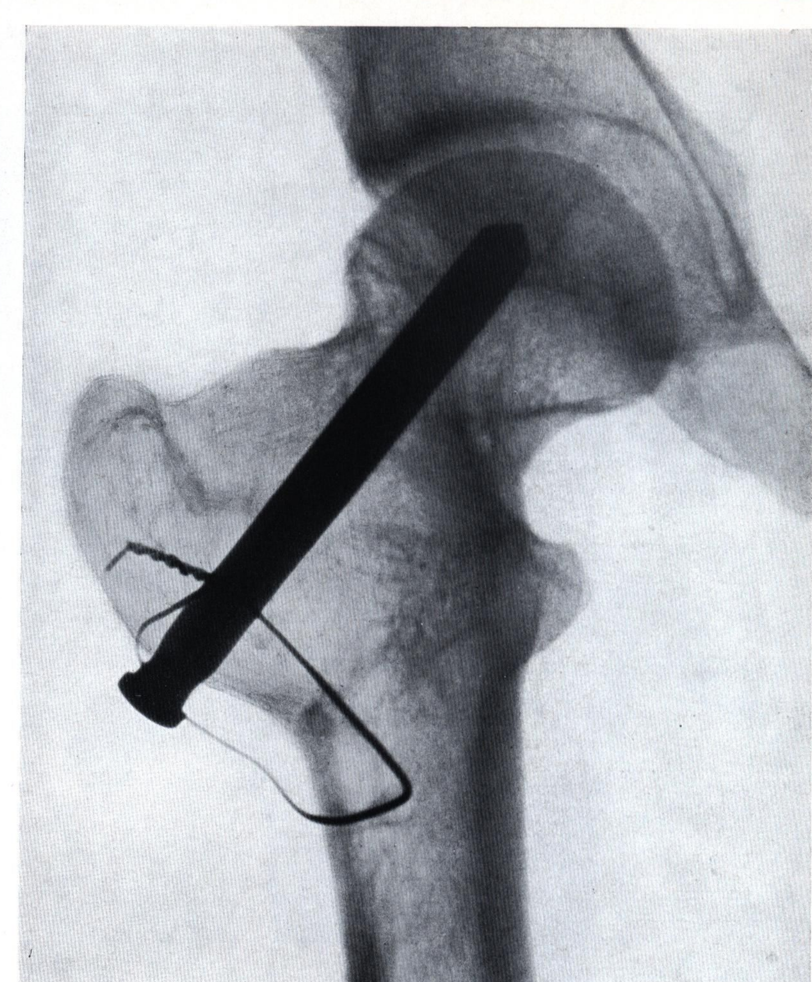


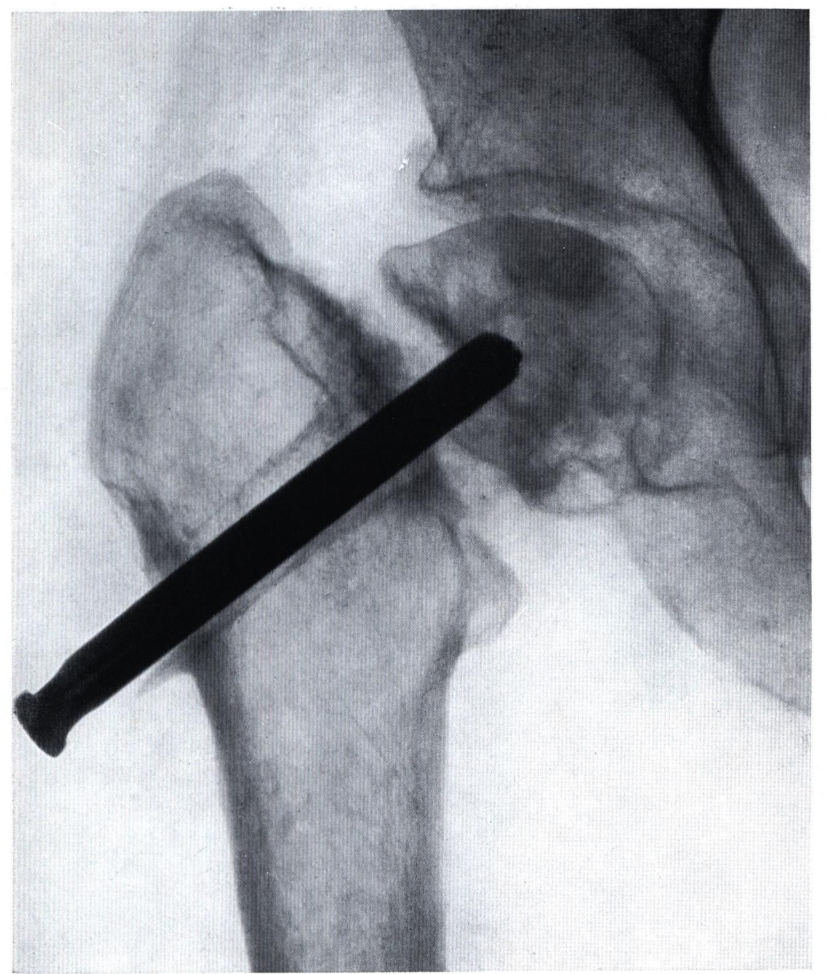
Fig. 113a et b



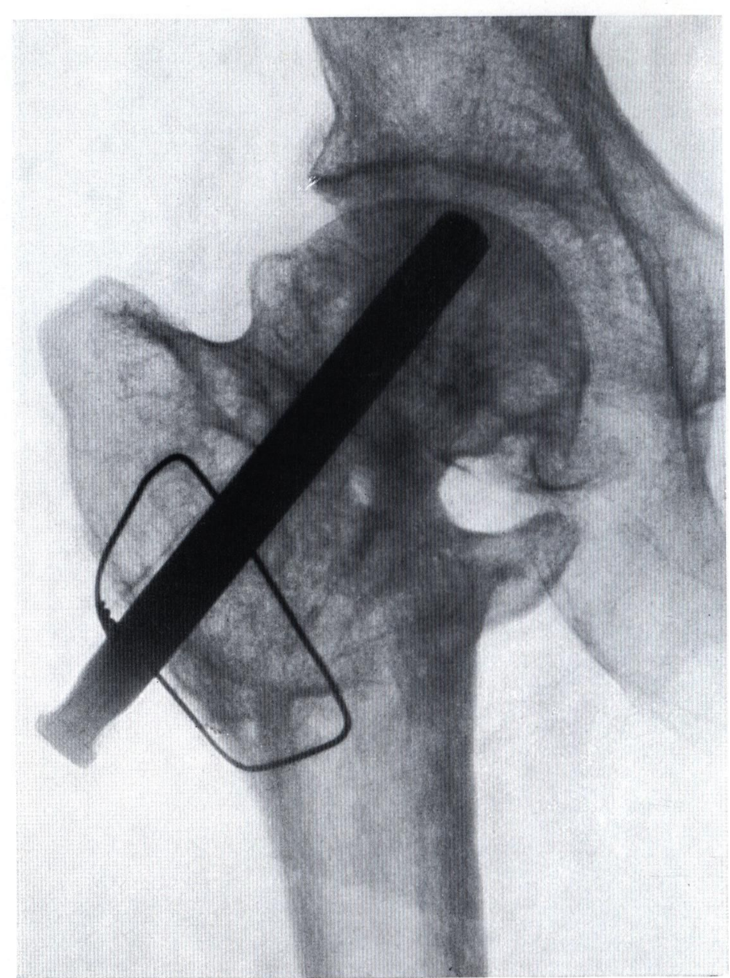
b 23.8.1943



c *23.10.1950 (7 ans 8 mois après l'opération)*

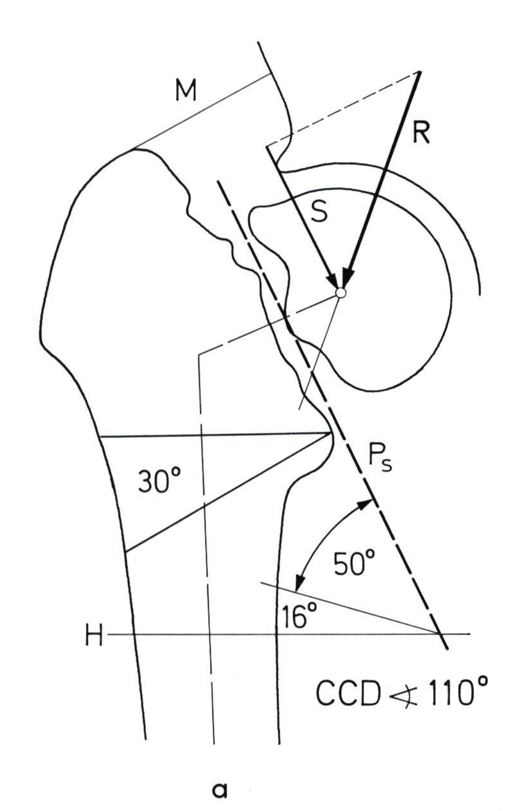


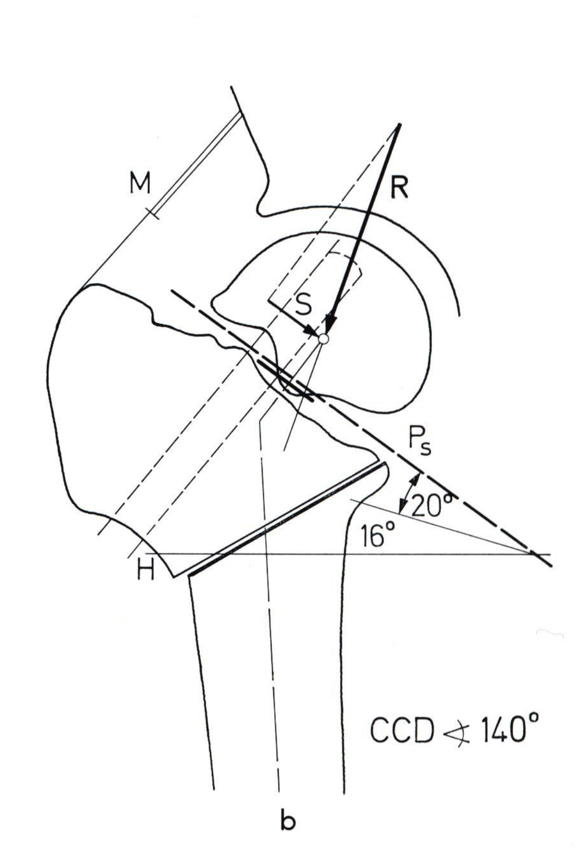
a 1.4.1953

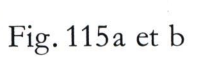


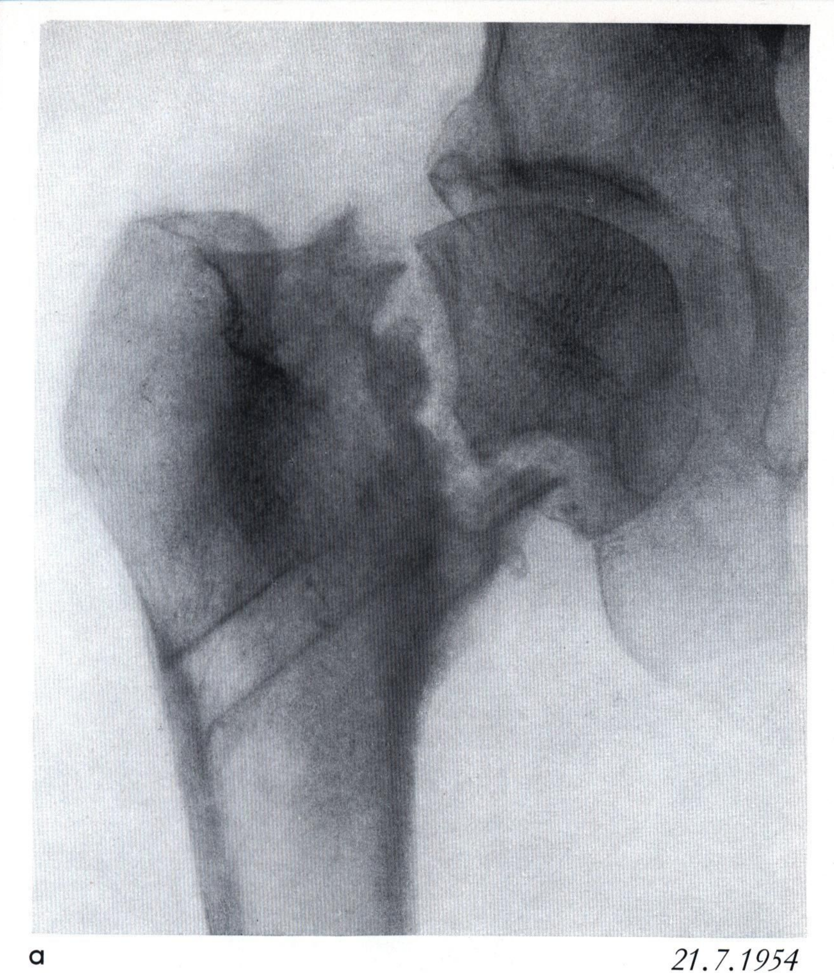
b *10.12.1955 (2 ans 7 mois après l'opération)*

Fig. 114a et b
C.K., ♀, née le 1.1.1890, Accident le 20.7.1948,
Opération le 21.5.1953 (4 ans 10 mois après l'accident)

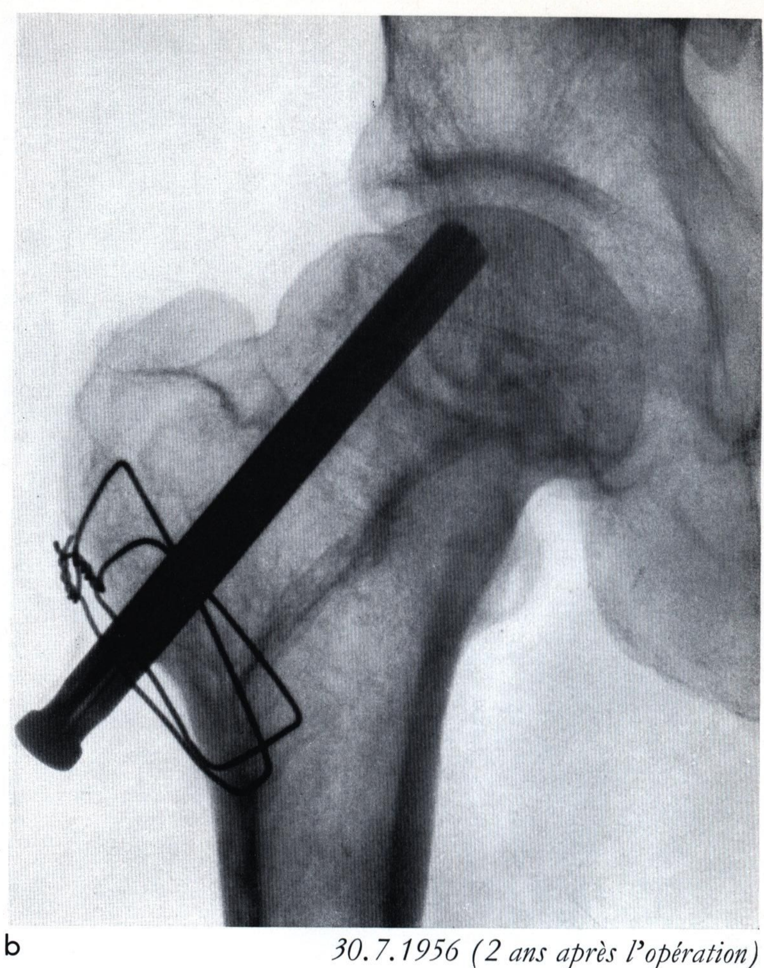





Fig. 115a et b

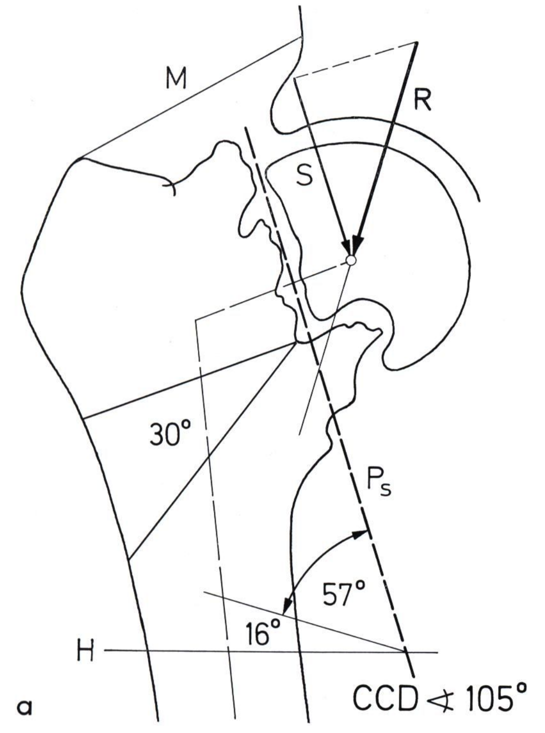


a *21.7.1954*



b *30.7.1956 (2 ans après l'opération)*

Fig. 116a et b
J.B., ♂, né le 21.10.1906, Accident le 5.3.1953, Opération le 27.7.1954 (1 an 5 mois après l'accident)



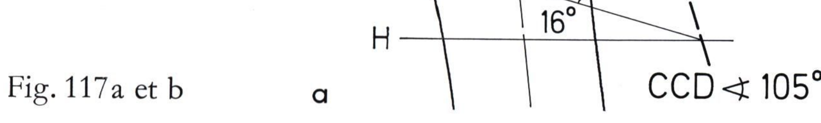
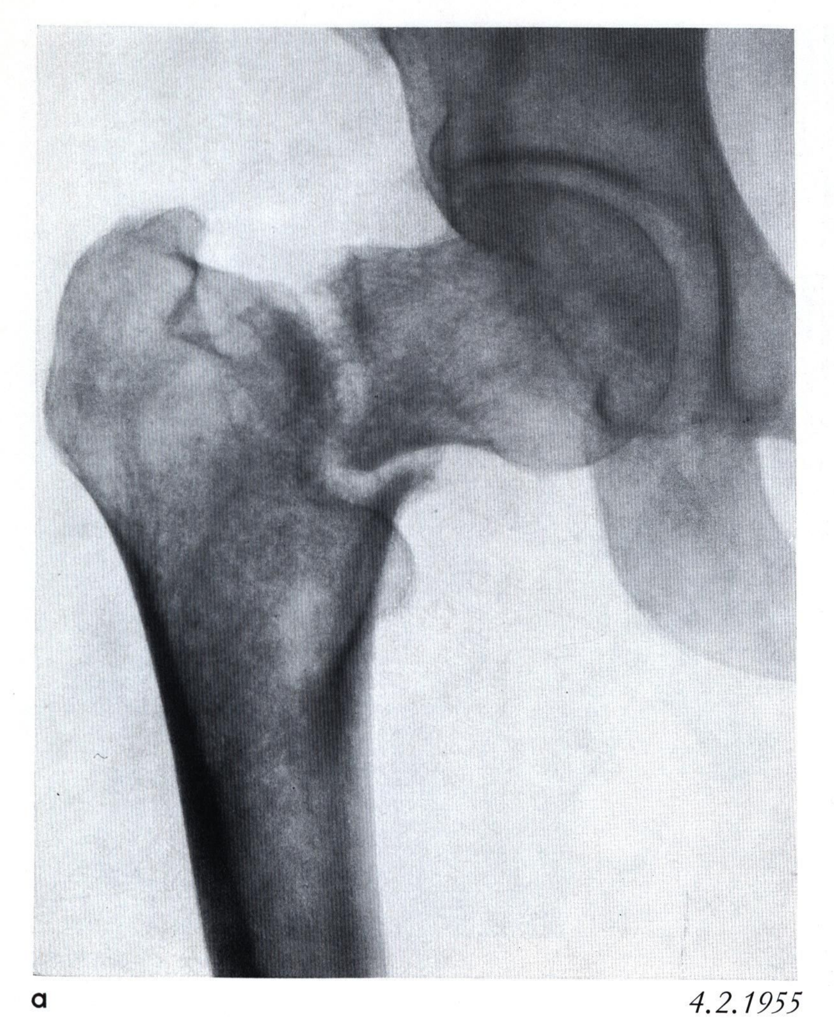
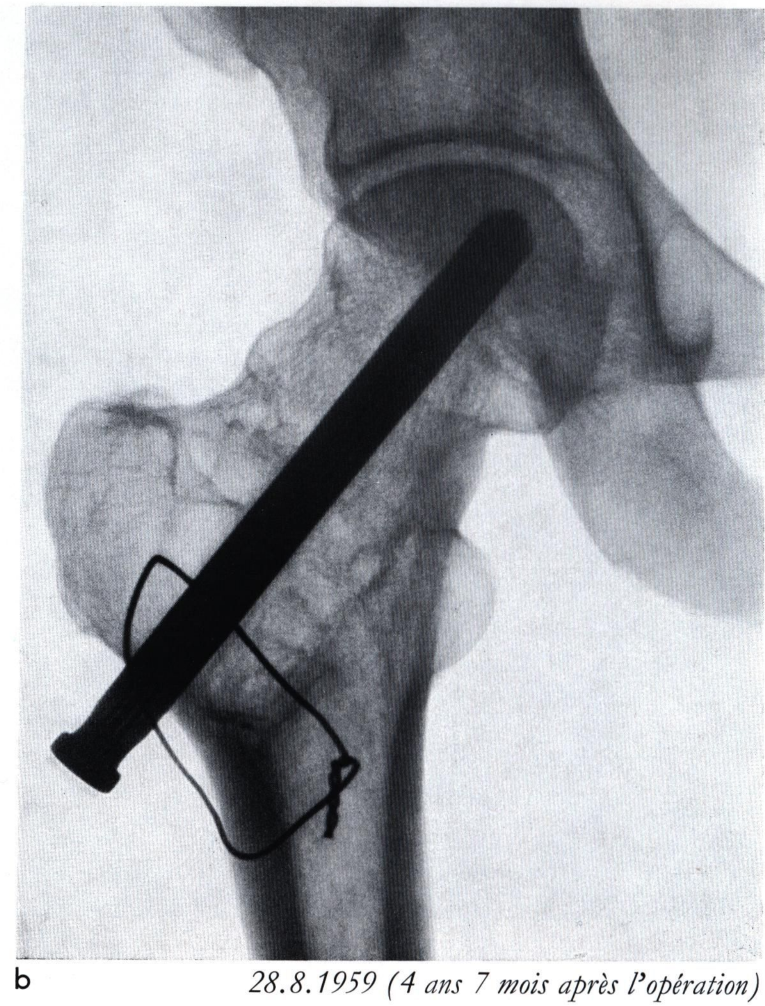


Fig. 117a et b

Un autre moyen très sûr d'éliminer le reste de cisaillement consiste à glisser sous la base du fragment capital un support de matériau osseux vivant qui ultérieurement s'unira à ce fragment. Parfois une saillie osseuse du fragment distal fournit ce support (fig. 116–119). Dans d'autres cas, lors de la réorientation, le fragment distal peut être glissé proximalement et sa pointe vient se placer sous le fragment capital (fig. 120–123).



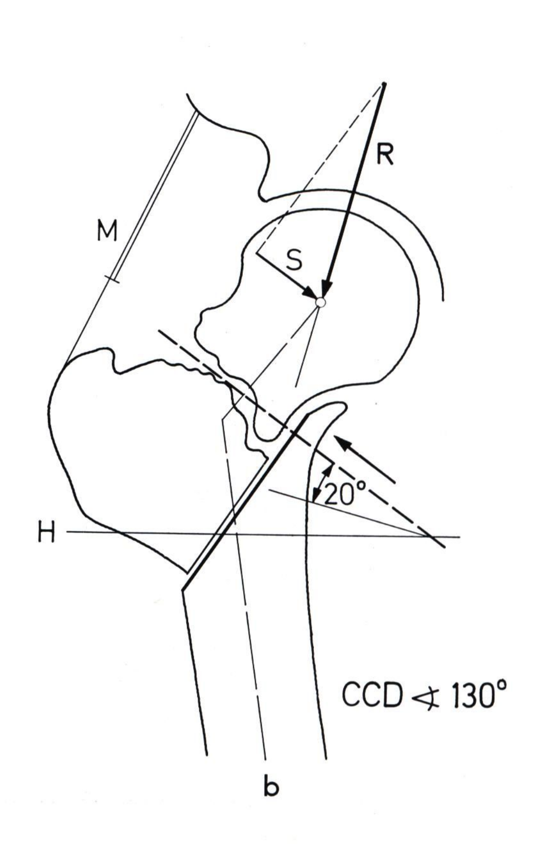
a *4.2.1955*



b *28.8.1959 (4 ans 7 mois après l'opération)*

Fig. 118a et b
J.Sch., ♀, née le 10.10.1910,
Fracture de fatigue le 22.5.1954,
Opération le 8.2.1955 (9 mois après la fracture)

M
R
S
30°
P_s
50°
16°
H
CCD ∢ 100°
a



b

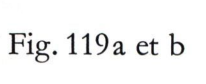
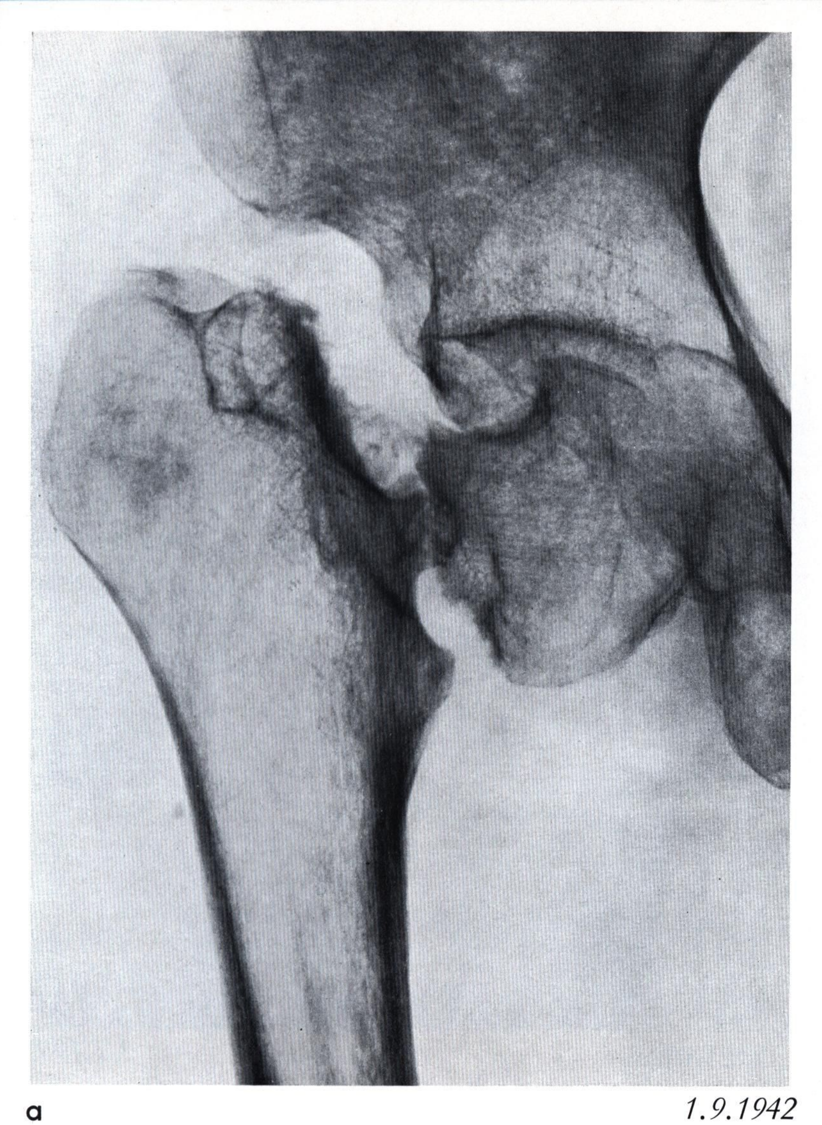
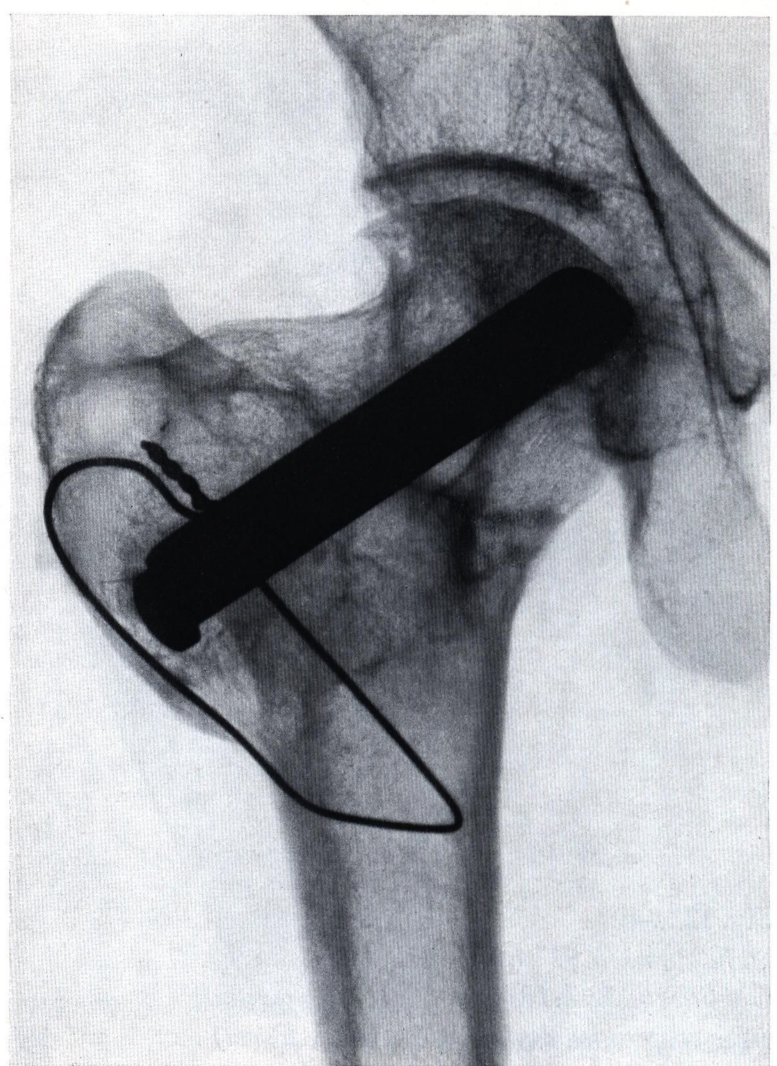


Fig. 119a et b

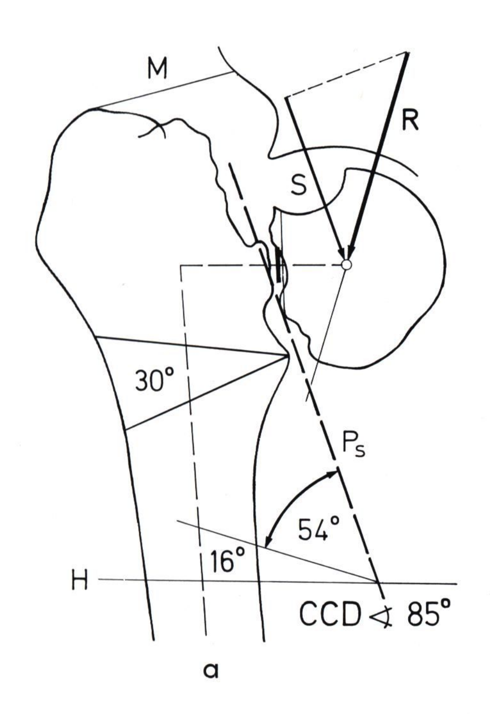


a 1.9.1942



b 31.10.1960 (18 ans après l'opération)

Fig. 120a et b
D.F., ♀, née le 2.4.1887, Accident le 13.1.1941, Opération le 27.10.1942 (1 an 9 mois après l'accident)



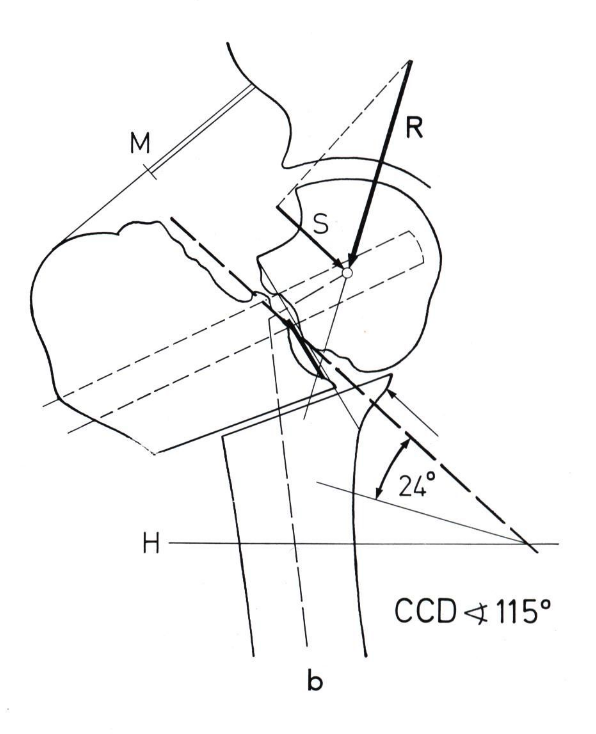


Fig. 121a et b

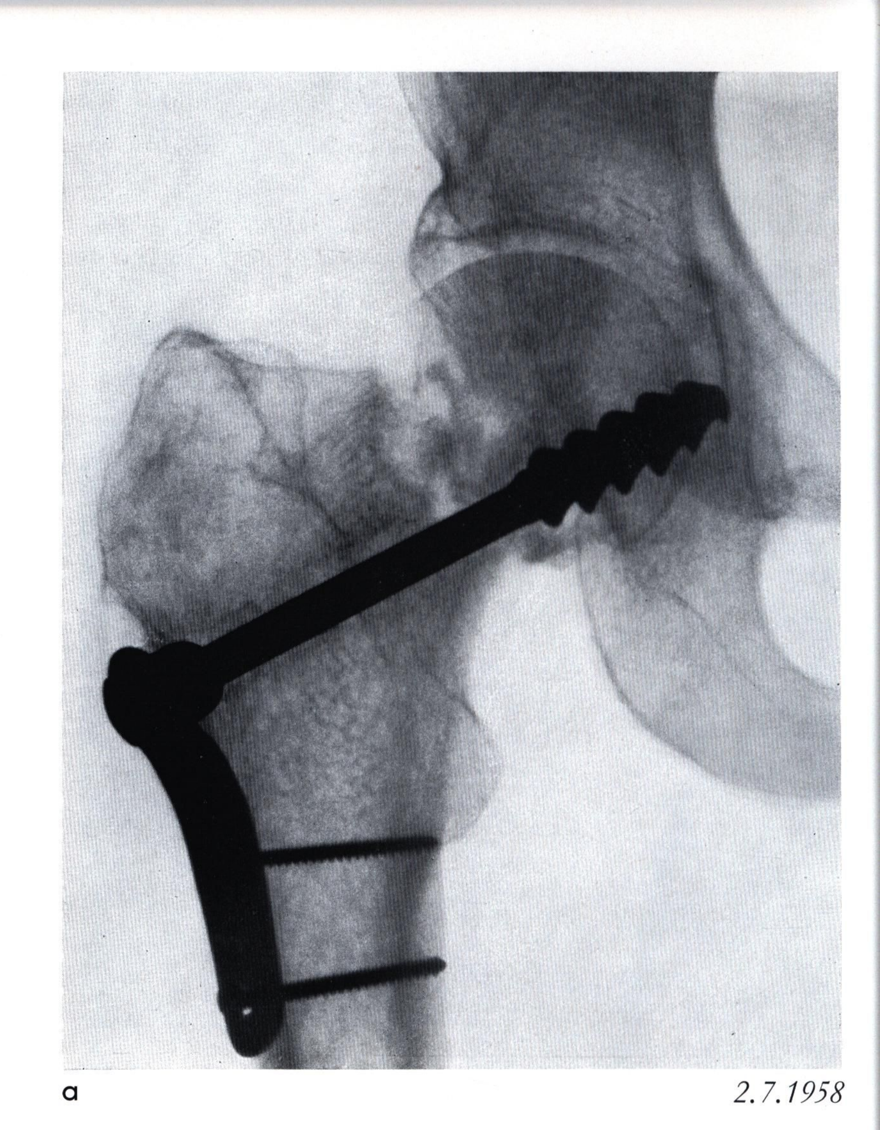


Fig. 122a–c
P.F., ♀, née le 9.7.1897, Accident le 21.1.1958, Opération le 22.8.1958 (7 mois après l'accident) (Cas et opération du docteur G. Geller, Düren)

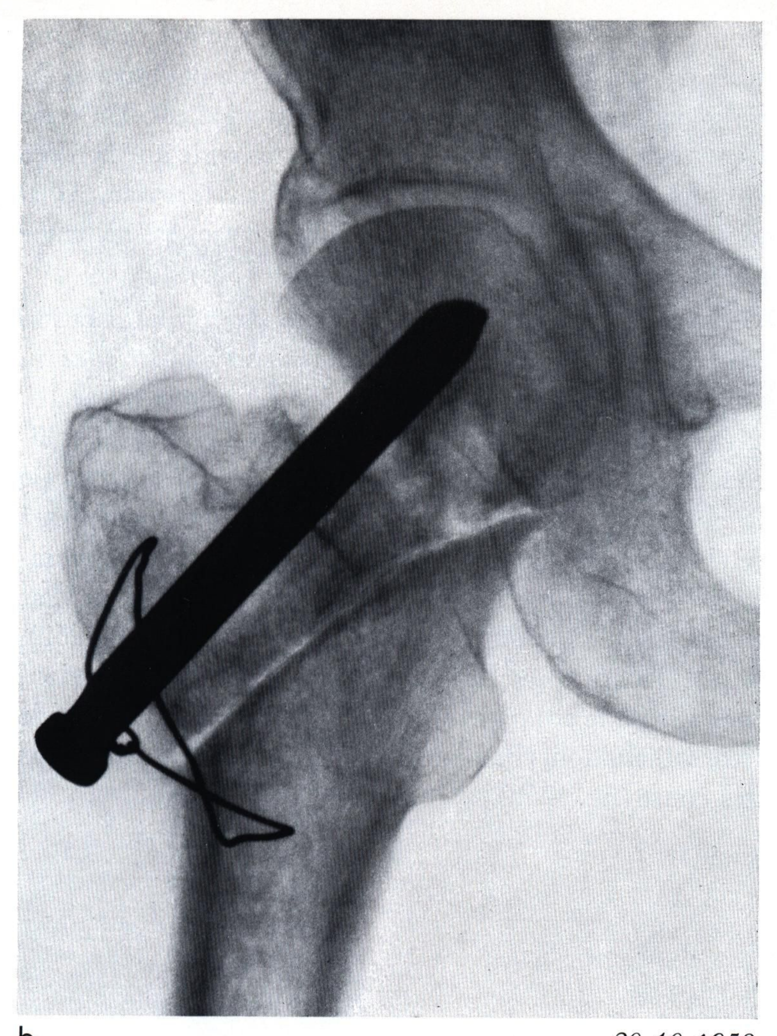
a *2.7.1958*

M
R
S
P_s
25°
50°
16°
H
CCD ∢ 110°

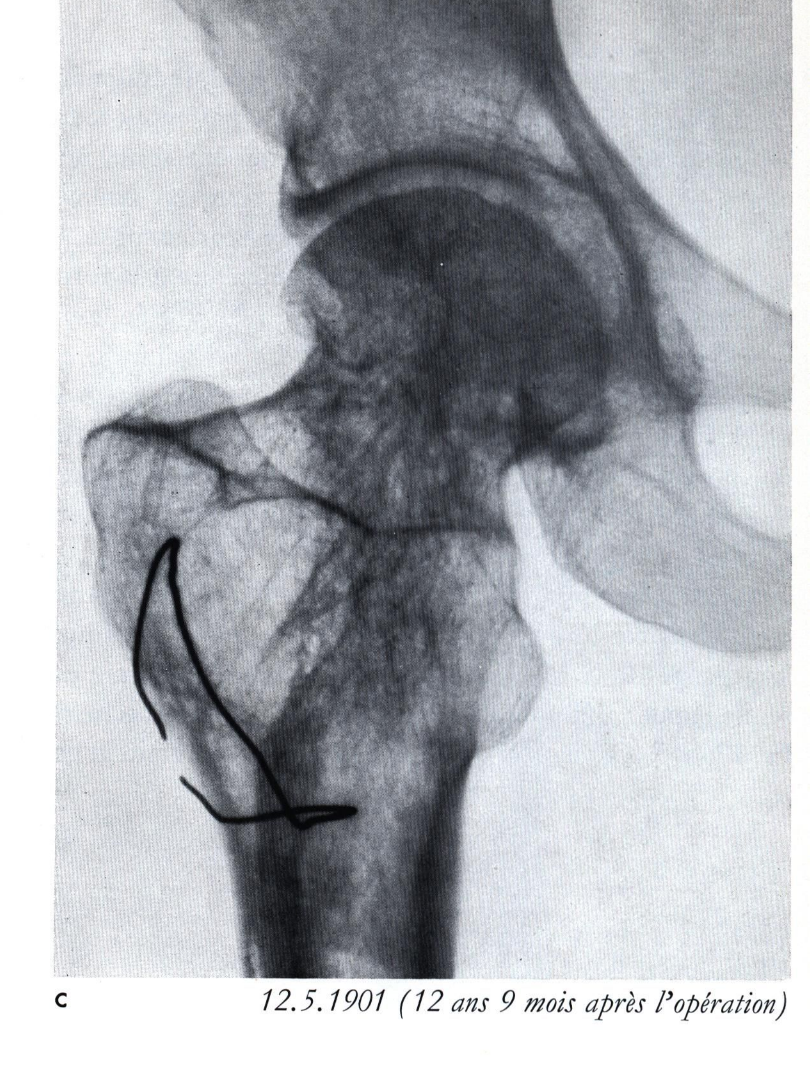
M
R
S
25°
H
CCD ∢ 135°

Fig. 123a et b

a b



b *20.10.1958*



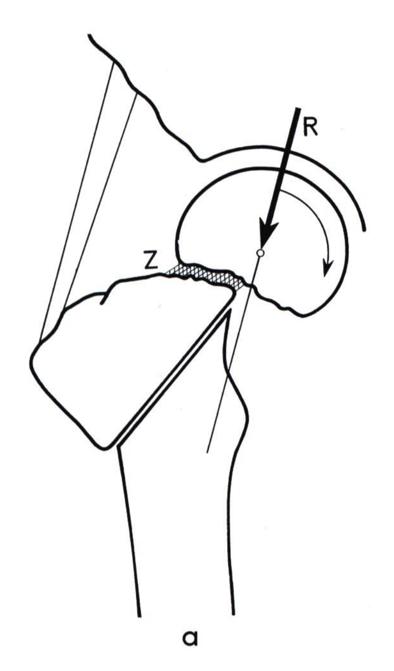
c *12.5.1901 (12 ans 9 mois après l'opération)*

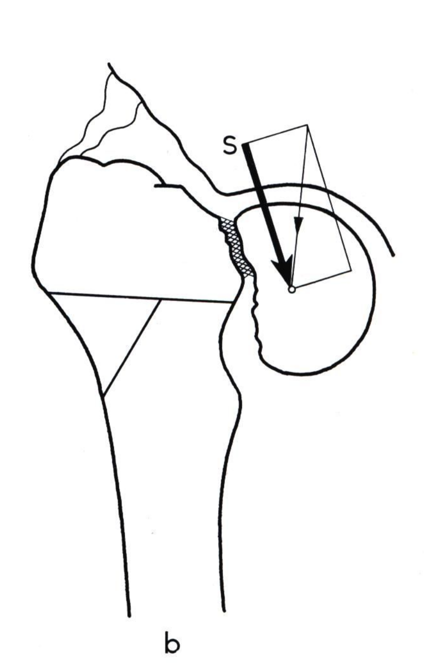
c) La réorientation par ostéotomie en Y

Dans certaines pseudarthroses du col fémoral, le fragment capital est fortement déplacé vers le bas par rapport au fragment cervical, de sorte que très souvent seule une petite partie des surfaces fracturaires reste en contact (fig. 125a et 128a). Dans ce cas, après une réorientation, la pseudarthrose, bien que rendue perpendiculaire à la force de compression résultante, ne serait pas sollicitée en compression mais en traction (fig. 124a). La sollicitation en traction entretiendrait la pseudarthrose parce qu'après la réorientation le fragment capital serait soutenu excentriquement par le fragment du col et, dans maint cas, la force de compression s'exercerait même en dehors de la surface d'appui.

C'est pourquoi, lorsque les fragments sont fortement déplacés l'un par rapport à l'autre, pour appliquer le principe de la réorientation, il faut une ostéotomie essentiellement différente, l'ostéotomie en Y (voir schéma fig. 124b)[33]. Dans ce type de réorientation, des traits d'ostéotomie en Y créent à l'extrémité du fragment distal une surface qui viendra se placer sous la partie débordante du fragment capital et empêchera son basculement. De cette façon, la surface portante est tellement élargie que la force de compression résultante est ramenée dans le noyau. Ainsi toute la coupe, y compris la pseudarthrose, est sollicitée purement en compression (fig. 124c et 126b).

Voici un exemple caractéristique de la réorientation par ostéotomie en Y. Il s'agit d'une pseudarthrose chez un patient de 51 ans (fig. 125). L'opération a été réalisée $1^1/_2$ an après l'accident. Comme l'indique l'analyse de la sollicitation, avant l'ostéotomie en Y (fig. 126a) la force de compression résultante (*R*) agissait avec une composante de cisaillement (*S*) très grande. Il existait aussi des contraintes de traction (*Z*) très élevées dues à la flexion. Par contre, après la réorientation par ostéotomie en Y (fig. 126b), la pseudarthrose est sollicitée purement en compression, comme tout le col fémoral fortement élargi. Sous l'effet de cette sollicitation, elle a guéri par union osseuse en un temps très court (fig. 125b).





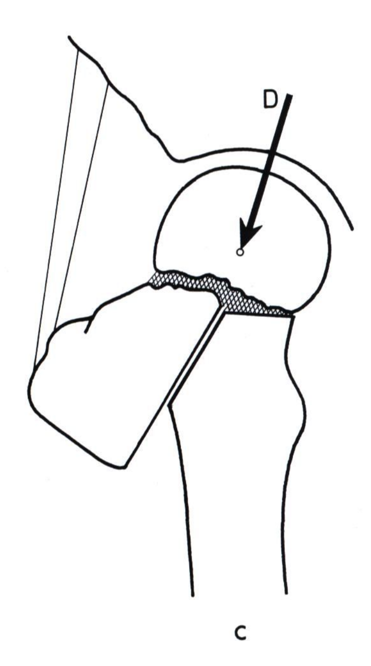
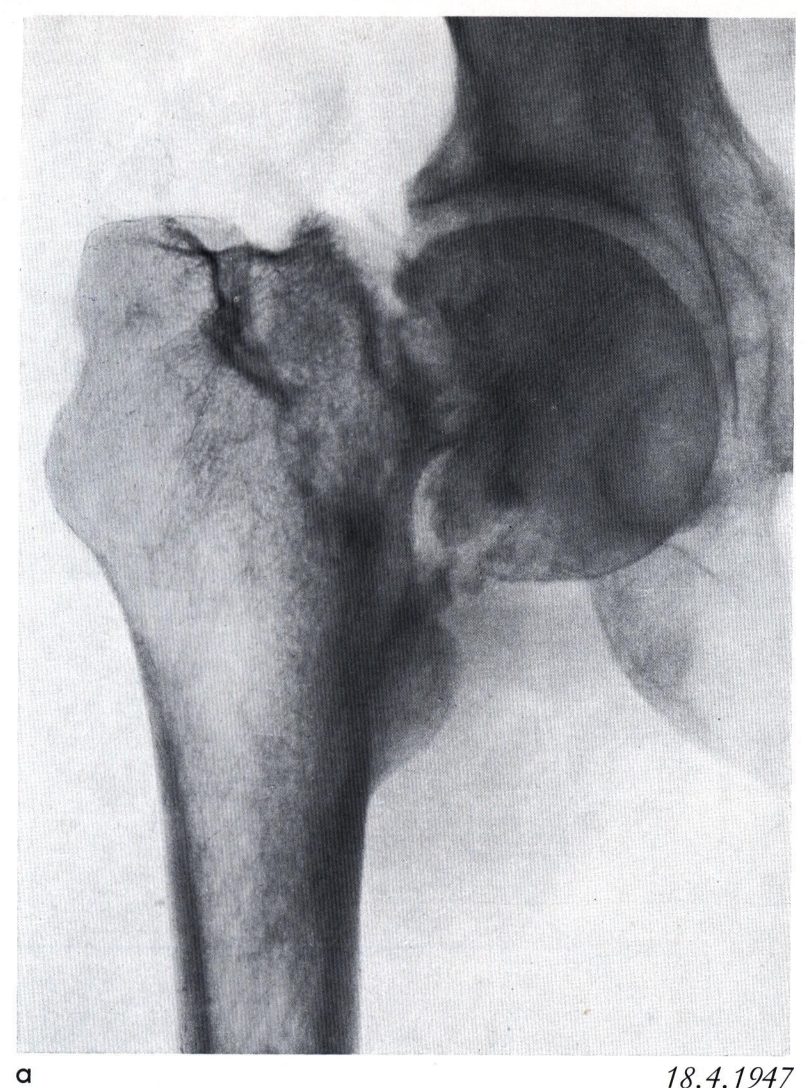
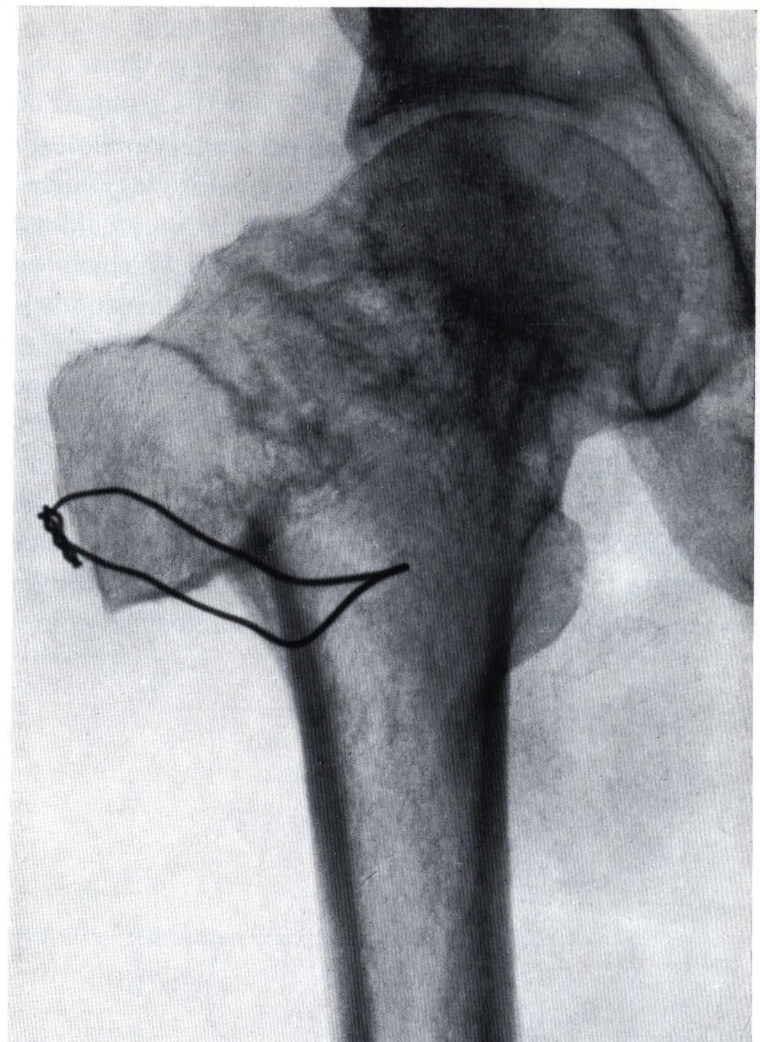


Fig. 124a–c

33 *Pauwels, F.:* Grundsätzliches über Indikation und Technik der „Umlagerung" bei Schenkelhalspseudarthrose. Langenbecks Arch. klin. Chir. **262**, 404–422 (1949).

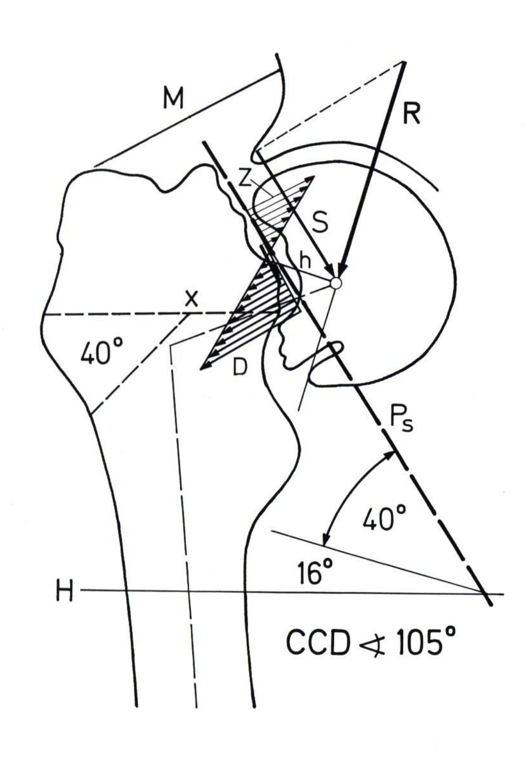


a 18.4.1947



b 13.4.1948 (1 an après l'opération)

Fig. 125a et b
S. Sch., ♂, né le 22.12.1896, Accident le 4.10.1945, Opération le 22.4.1947 (1 an 7 mois après l'accident)



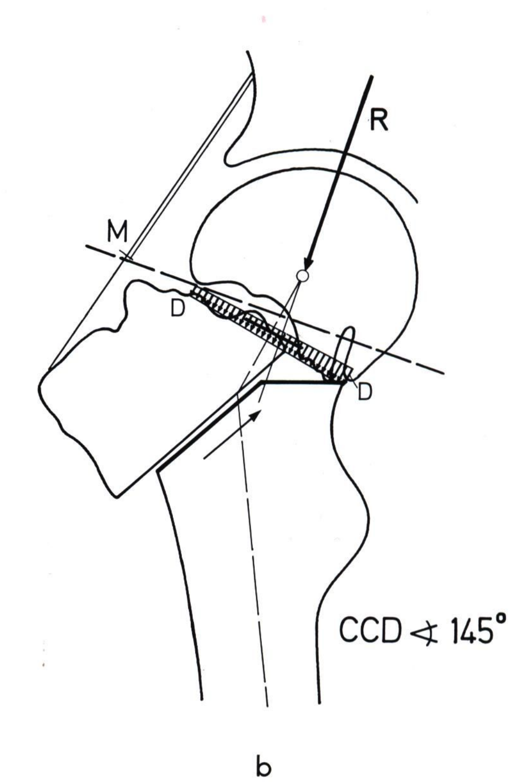
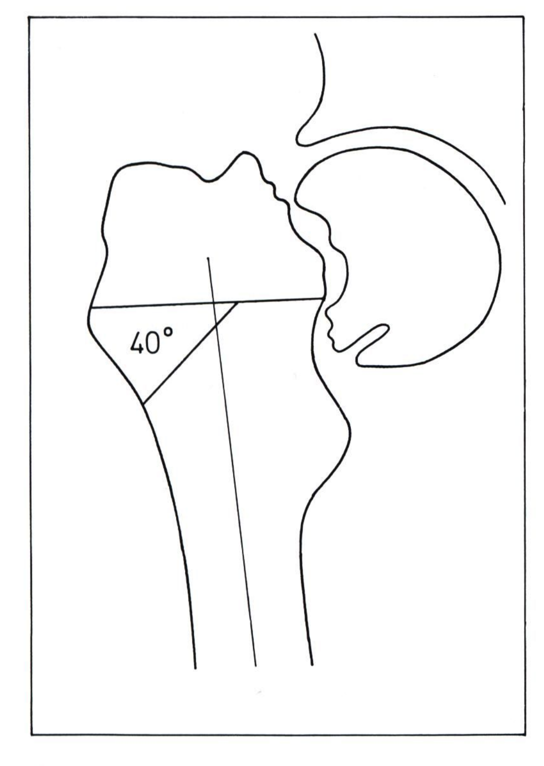


Fig. 126a et b a b

d) Préparation et technique opératoire de la réorientation par ostéotomie en Y

De nouveau il faut d'abord déterminer l'angle dont doivent basculer les surfaces fracturaires pour rendre la pseudarthrose perpendiculaire à la direction de la force de compression résultante et ainsi transformer le cisaillement en compression pure. Cet angle s'obtient essentiellement de la même façon que pour la réorientation de la pseudarthrose par simple ostéotomie cunéiforme (voir fig. 111a). Lorsque l'angle indiquant la dimension du coin à réséquer est reporté dans le dessin opératoire, le trait supérieur doit atteindre l'extrémité inférieure de la fente interfragmentaire (fig. 127a). De cette façon, après réorientation, la surface fracturaire du fragment capital vient reposer sur du tissu osseux fraîchement avivé. En outre, le sommet du coin à



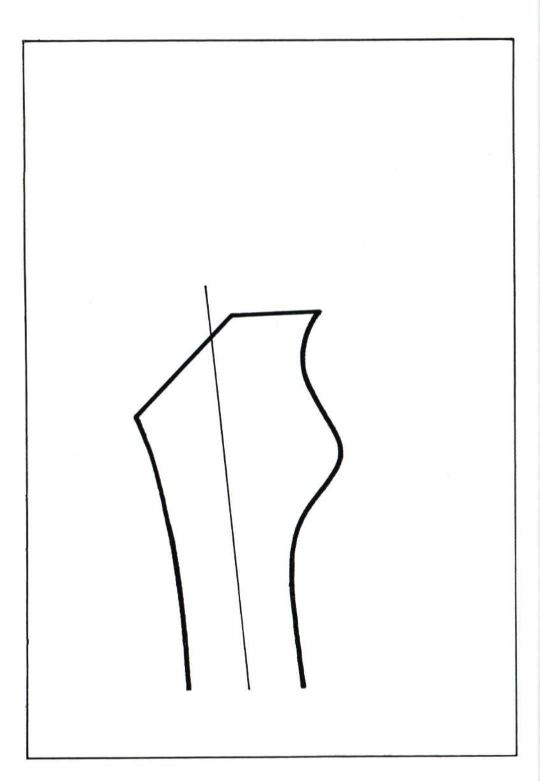
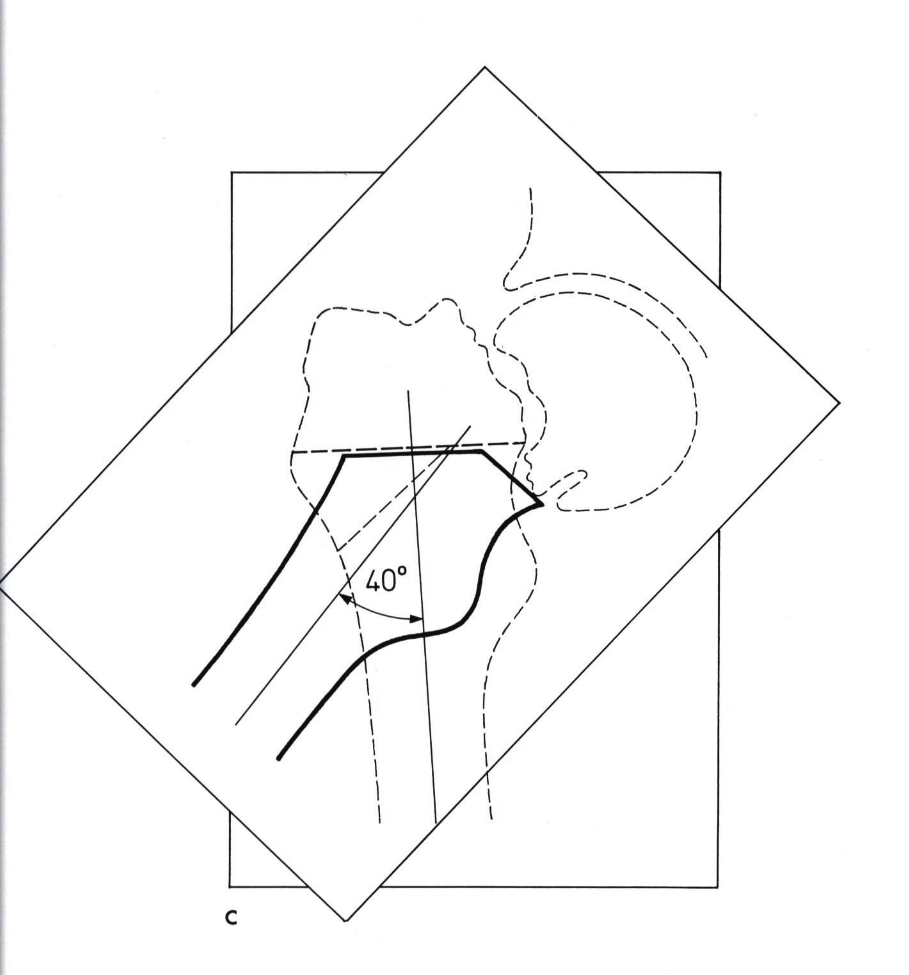


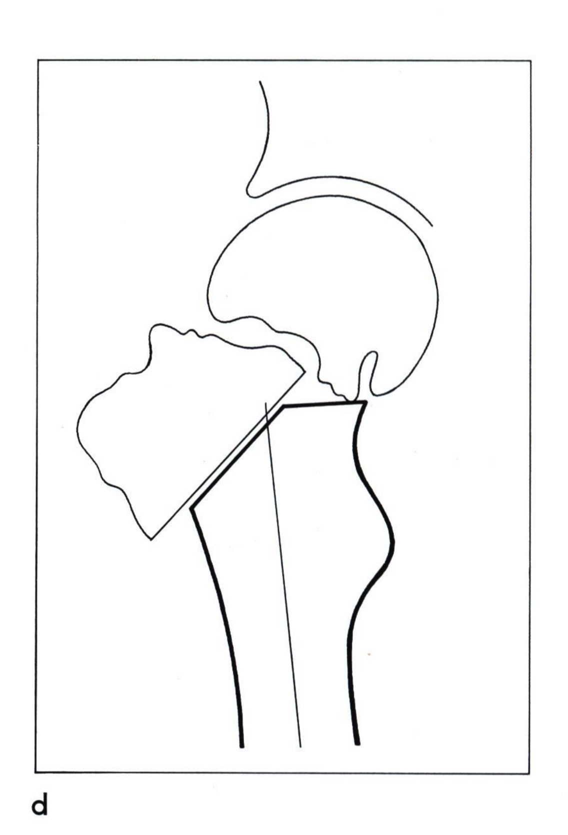
Fig. 127a–d a b

réséquer doit se trouver sur le trait supérieur de telle sorte que, après enlèvement de ce coin, l'extrémité supérieure du fragment distal ait la même largeur que la partie débordante du fragment capital. Après la réorientation, celle-ci sera ainsi sollicitée purement en compression. Le dessin est ensuite terminé (fig. 127b–d) comme pour la réorientation simple (voir pages 90, 91). La technique opératoire est analogue. L'ostéotomie ne s'exécute, comme toujours, qu'après marquage des sections osseuses par des broches de Kirschner sous contrôle radiographique, suivant le dessin préopératoire.

Après réorientation par ostéotomie en Y, dans des cas spécialement défavorables, il peut aussi être avantageux d'assurer la position des fragments par un enclouage additionnel.

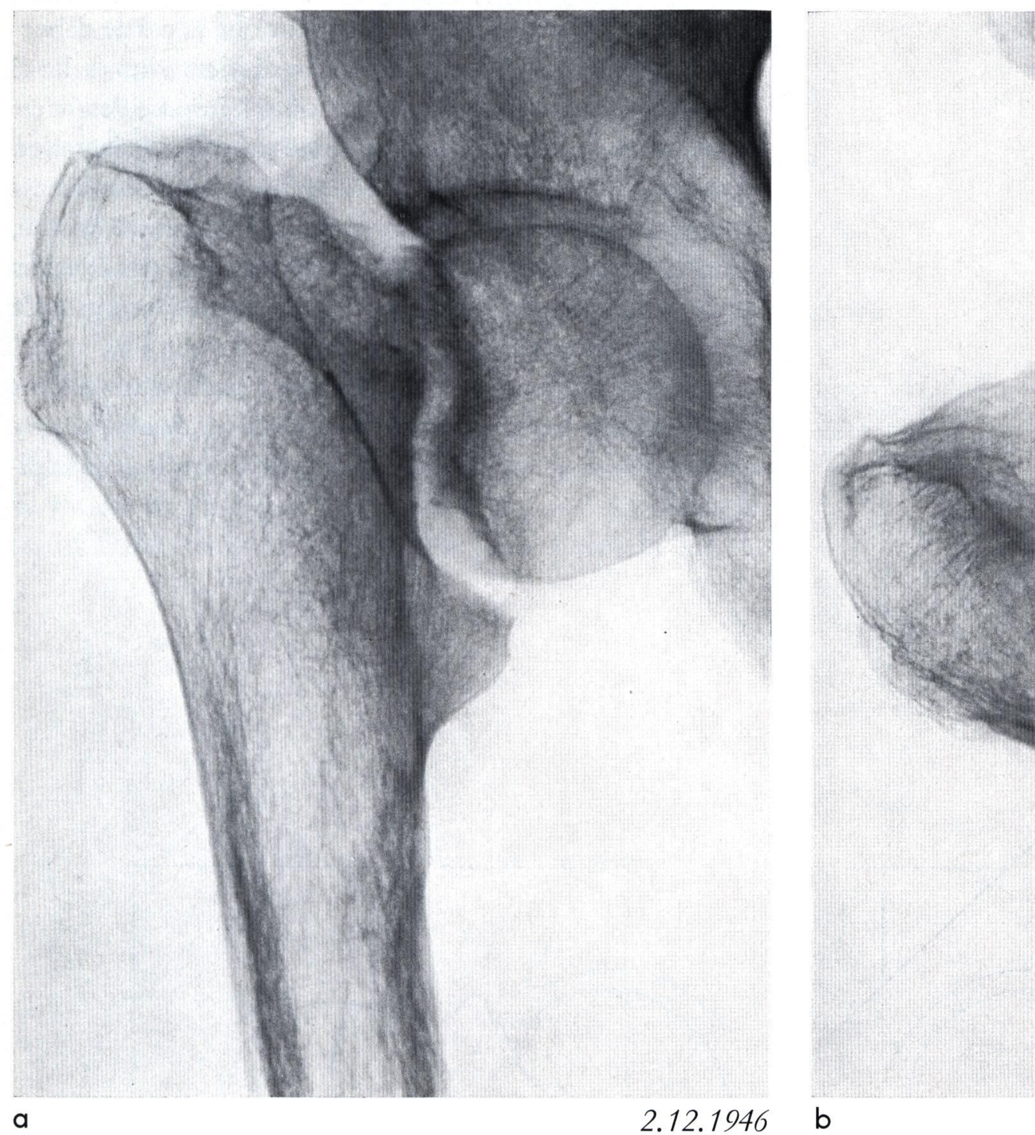


c

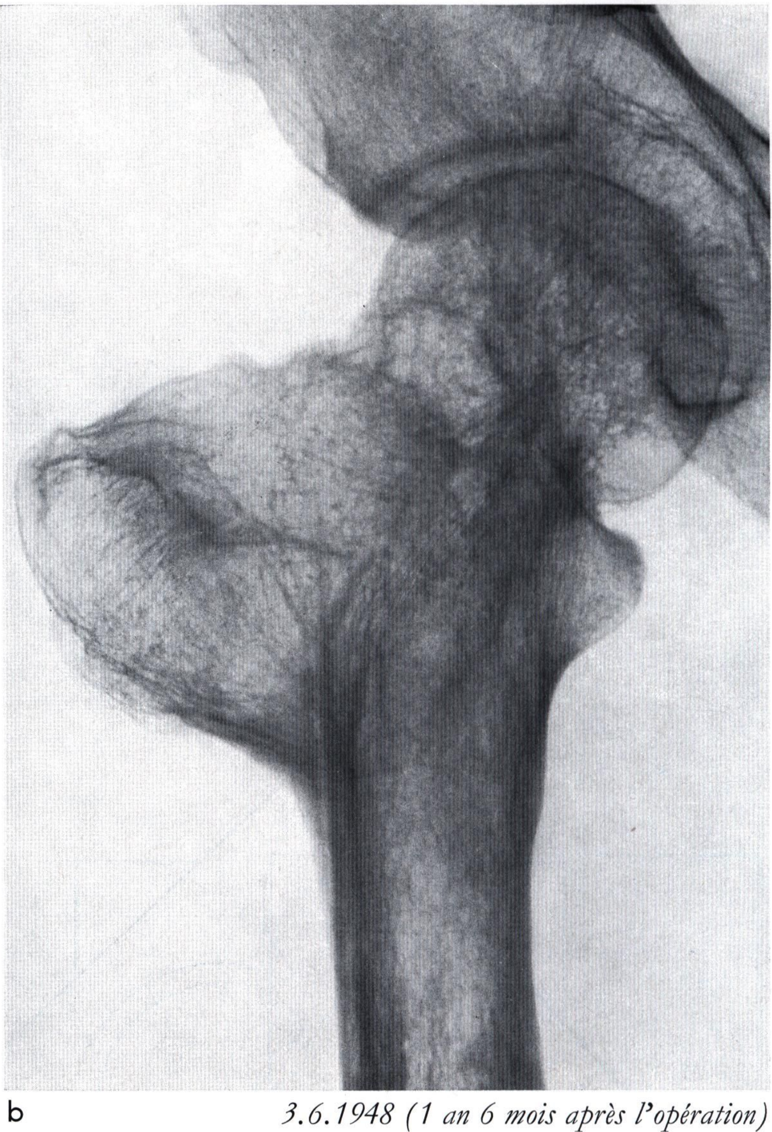


d

e) Résultats de la réorientation par ostéotomie en Y

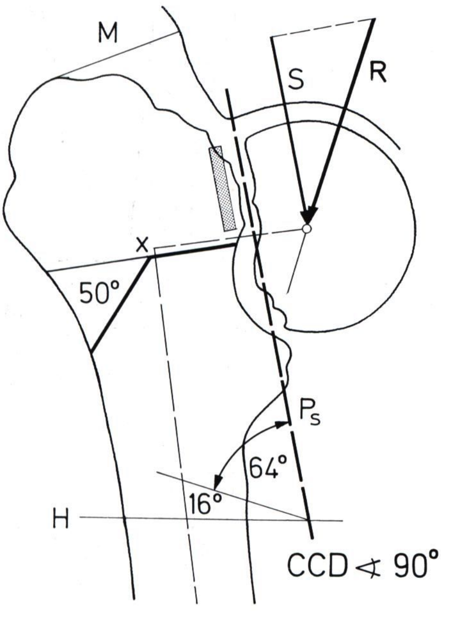


a *2.12.1946*



b *3.6.1948 (1 an 6 mois après l'opération)*

Fig. 128a et b
H.H., ♂, né le 10.2.1892, Accident le 2.12.1944, Opération le 14.1.1947 (2 ans 1 mois après l'accident)





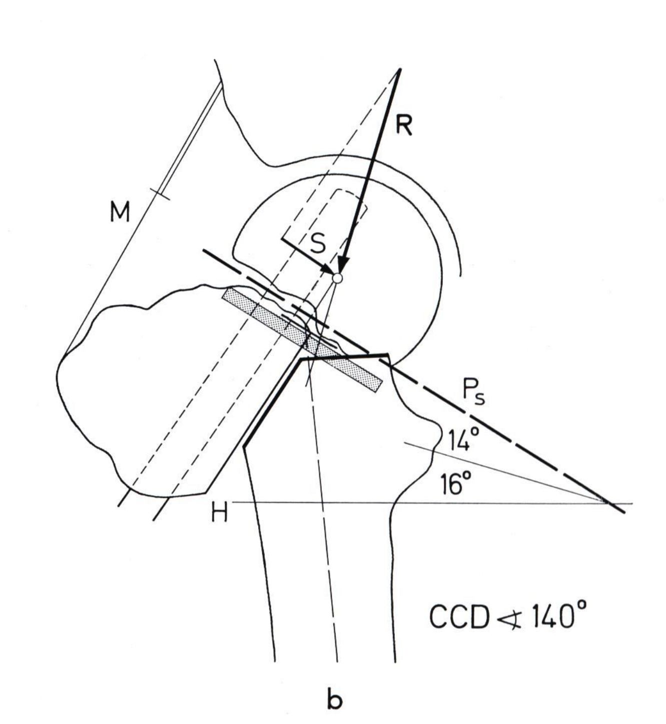
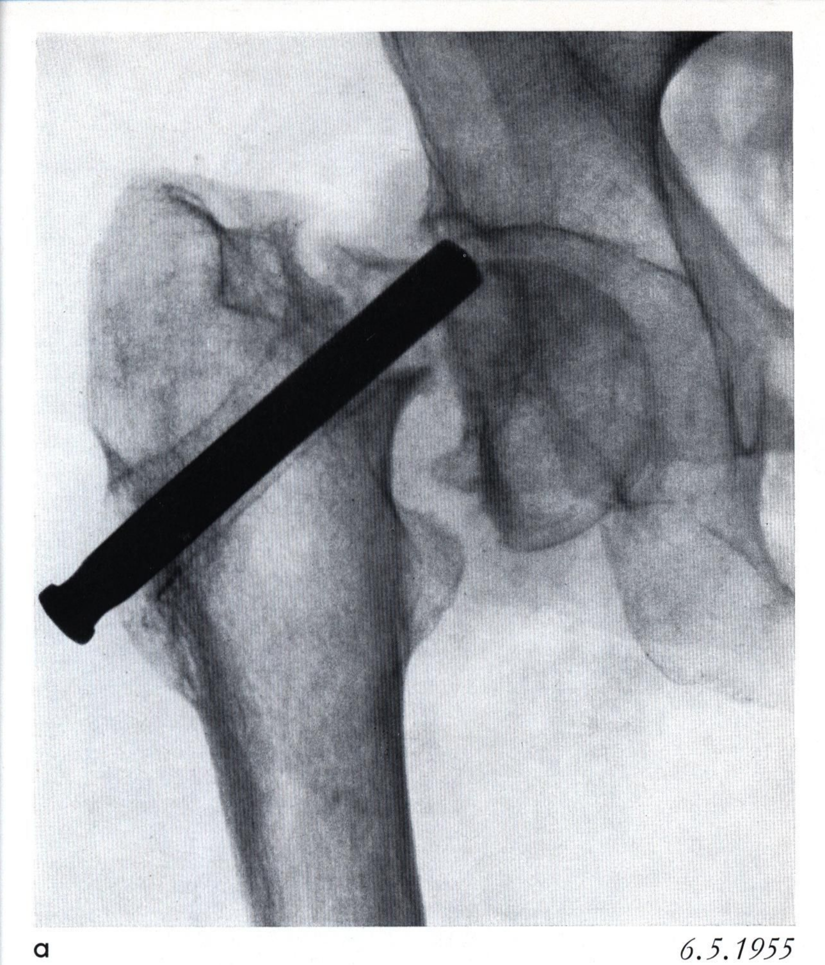


Fig. 129a et b a b


a 6.5.1955

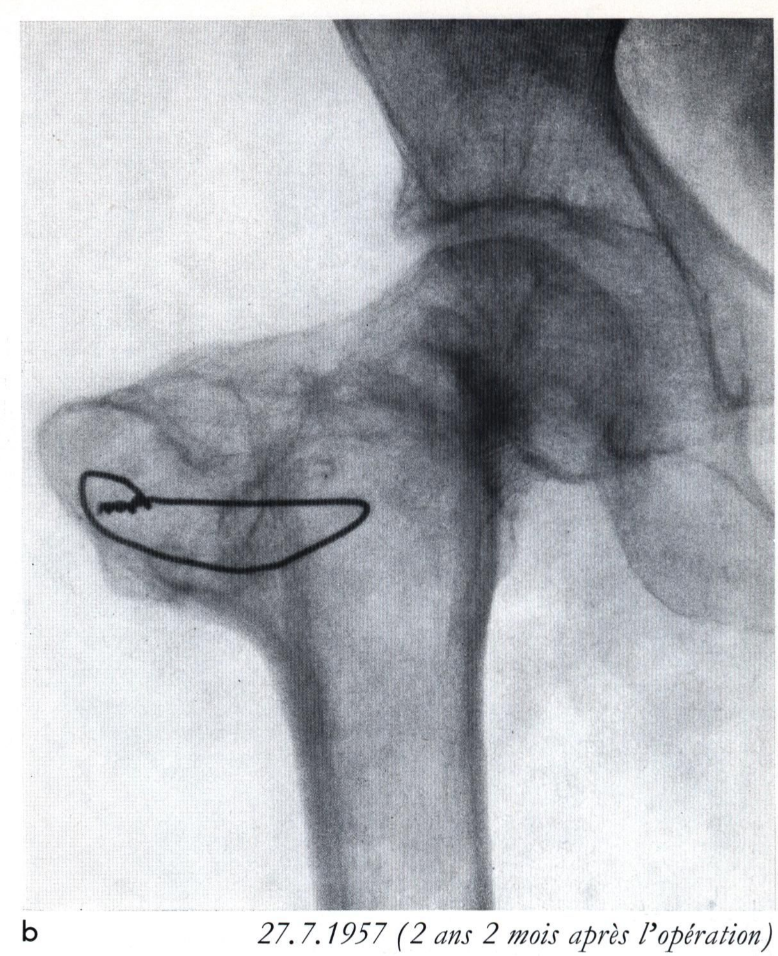
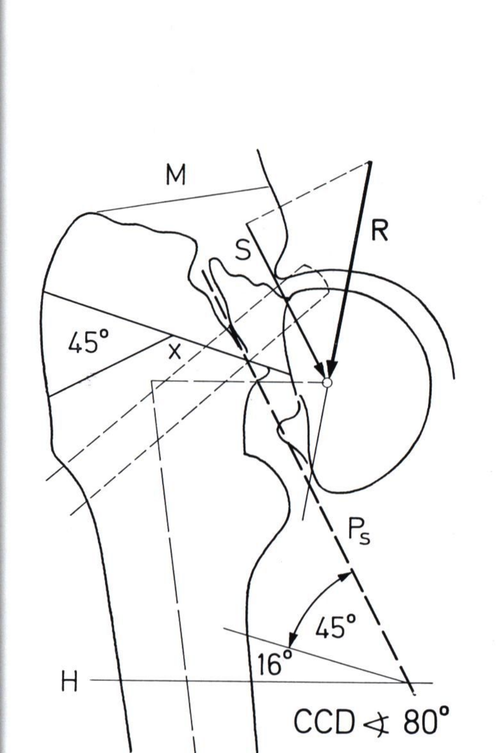
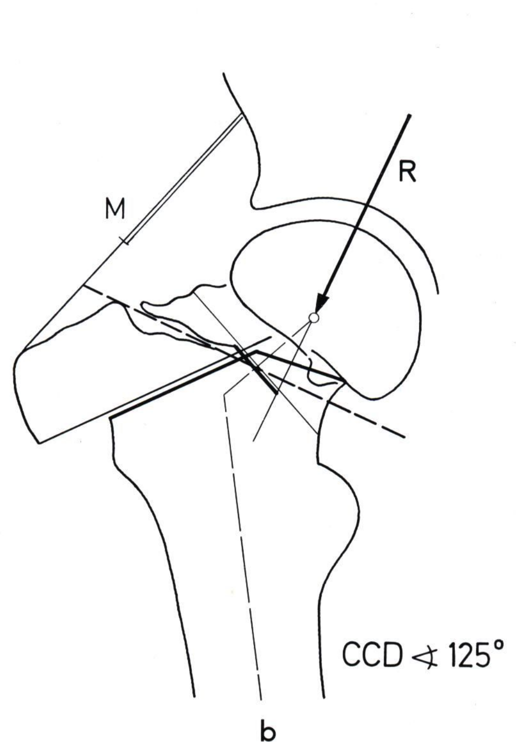

b 27.7.1957 (2 ans 2 mois après l'opération)

Fig. 130a–c
M.T., ♀, née le 8.9.1893, Accident le 8.2.1953, Opération le 12.5.1955 (2 ans 3 mois après l'accident)



a



b

Fig. 131a et b

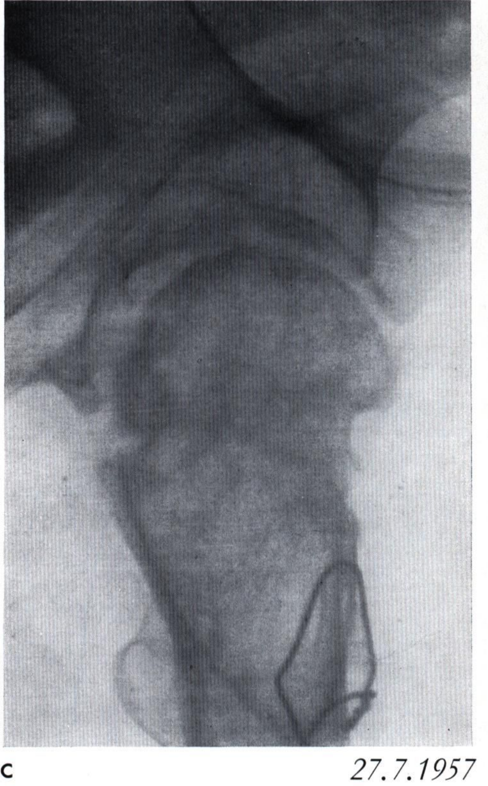
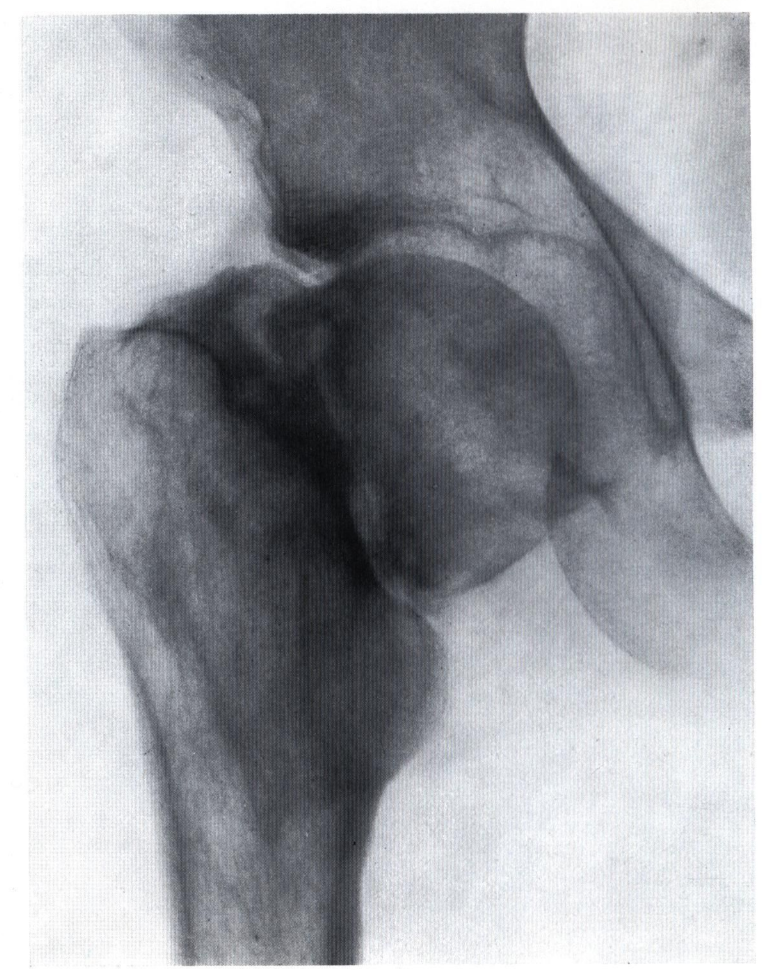

c 27.7.1957

Fig. 130c

Fig. 132a–c
H.B., ♂, né le 26.5.1921, Accident le 22.8.1952, Opération le 20.5.1954 (1 an 9 mois après l'accident)



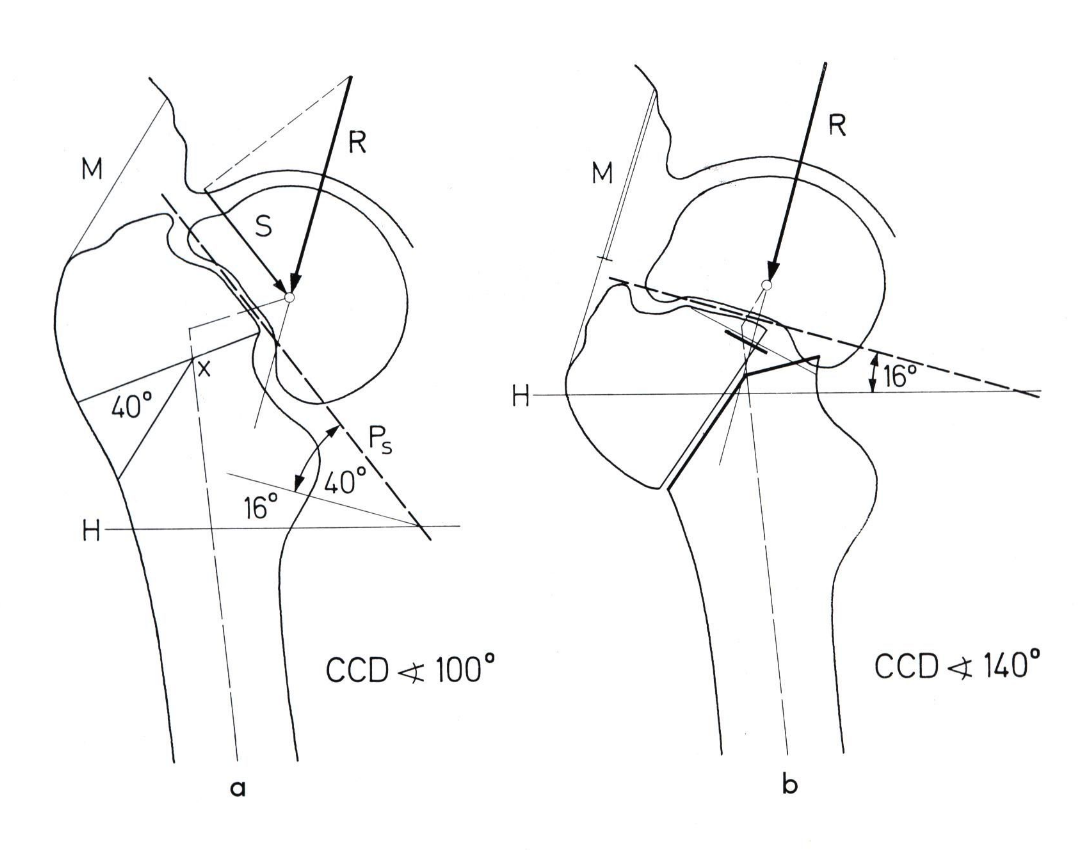
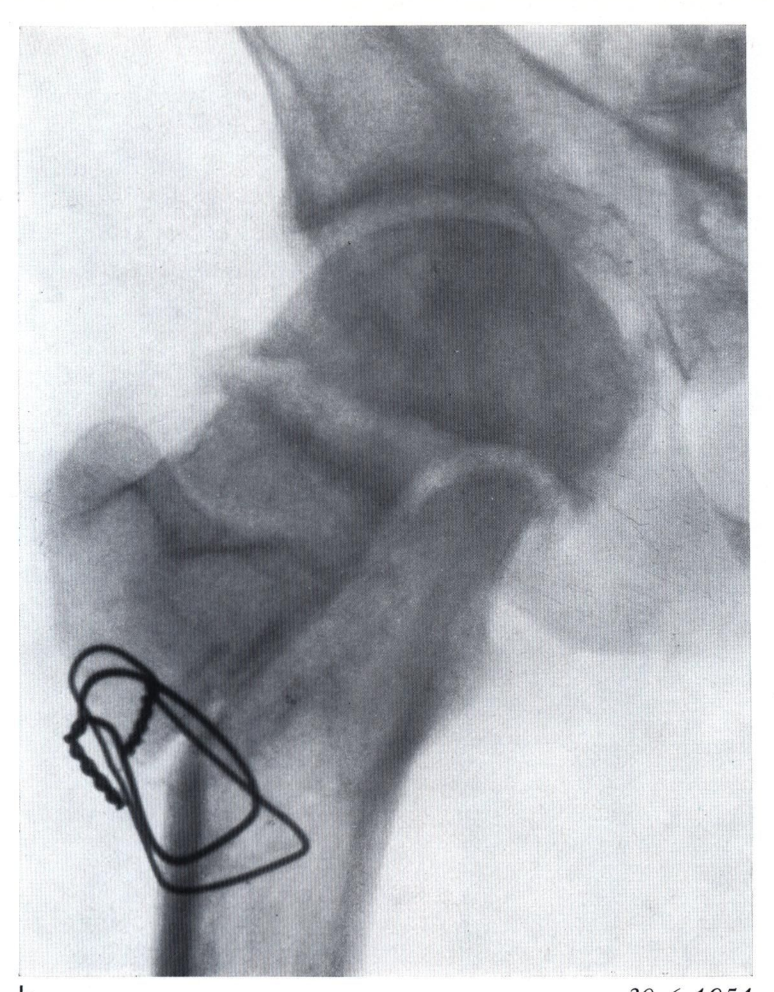
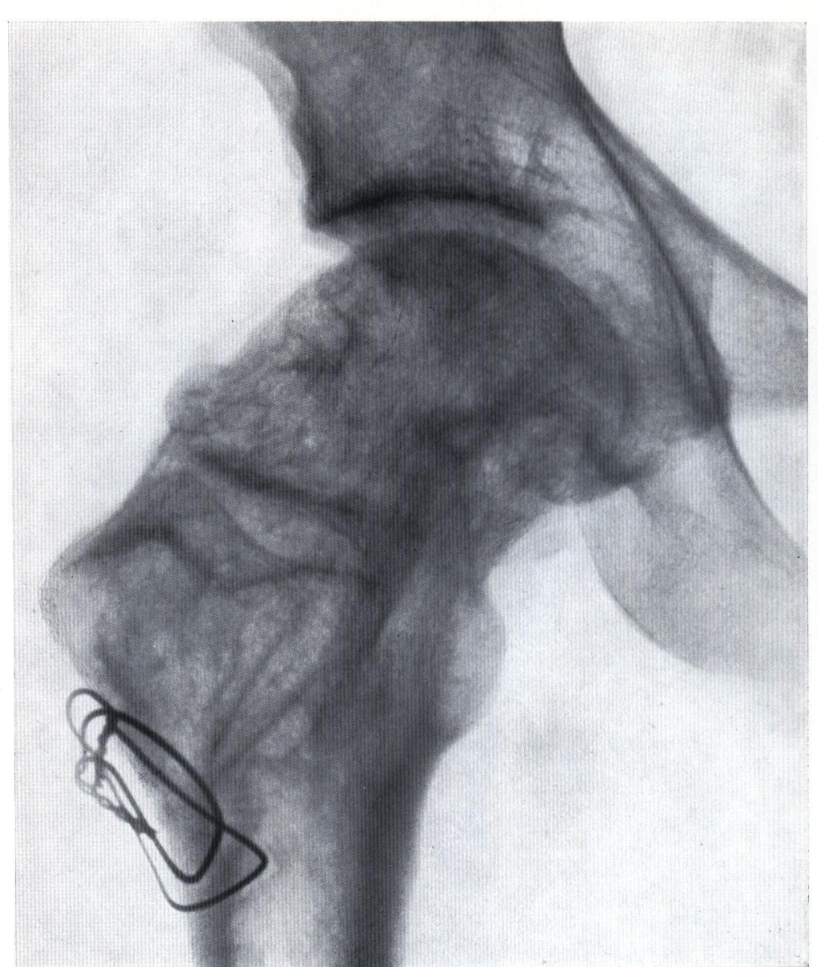


Fig. 133a et b

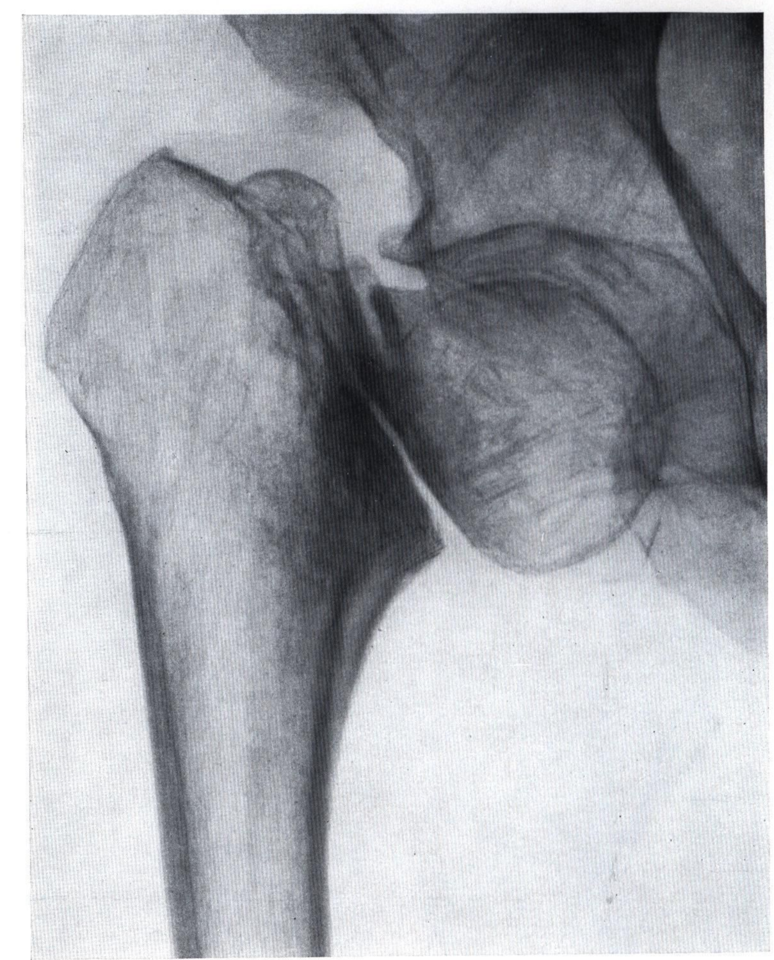


b *30.6.1954*



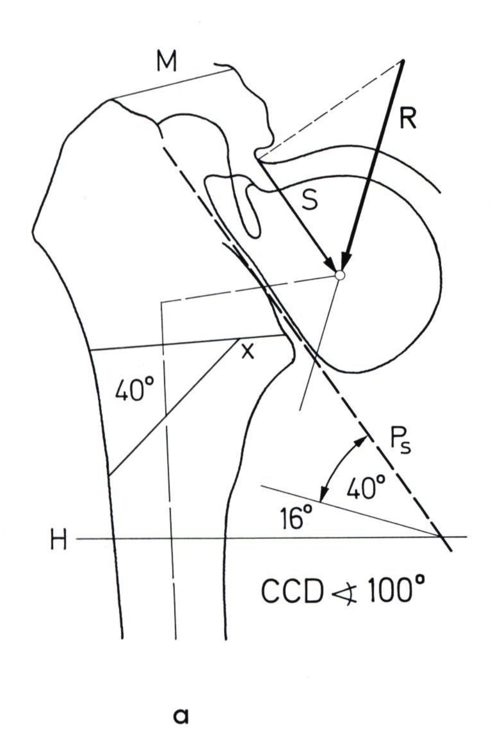
c *11.2.1957 (2 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 134a–c
A.C., ♀, née le 4.7.1893, Accident le 2.4. 1948, Opération le 25.4.1957 (9 ans 1 mois après l'accident)

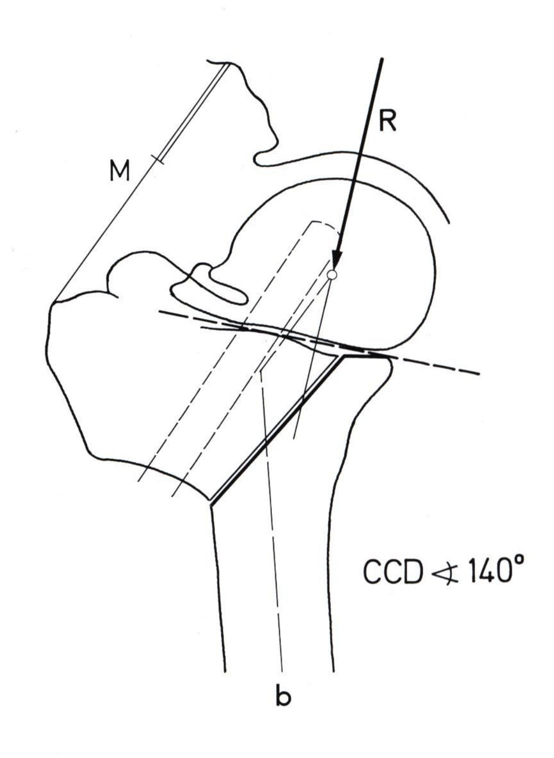




a *24.4.1957*

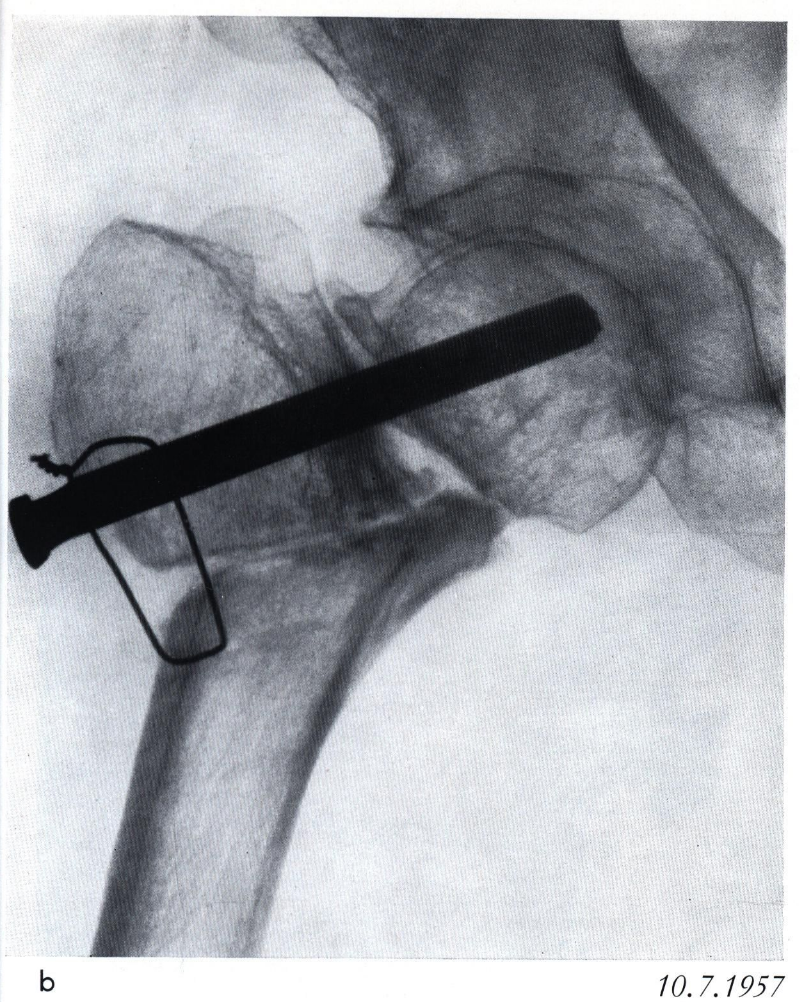


a

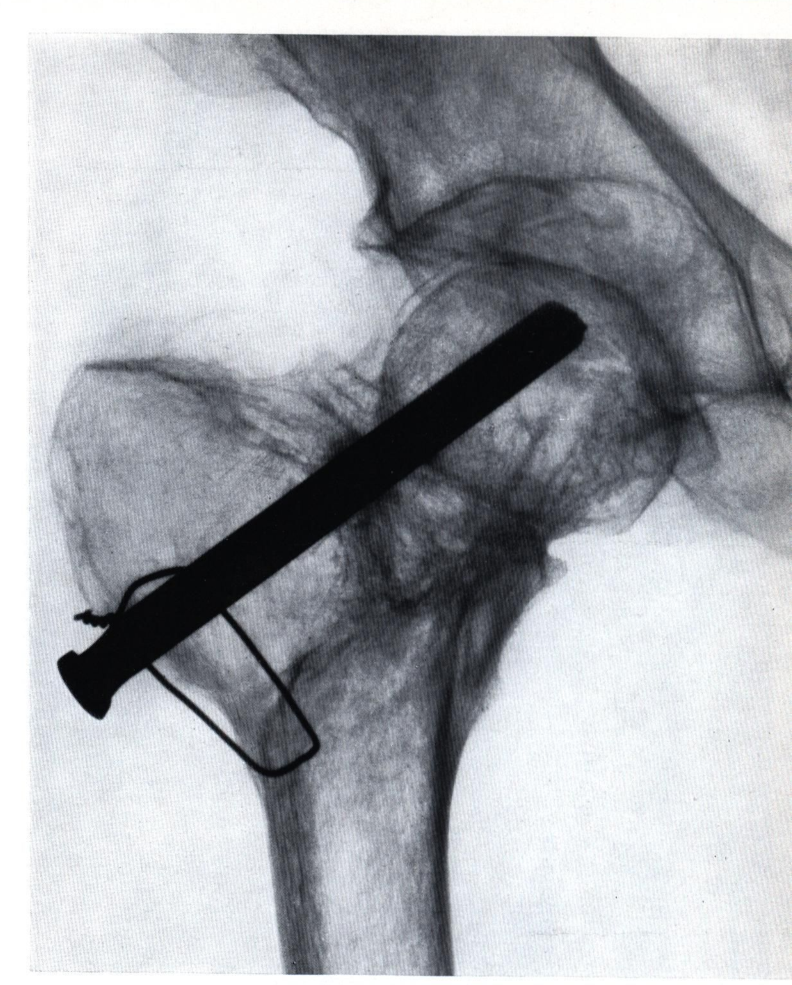


b

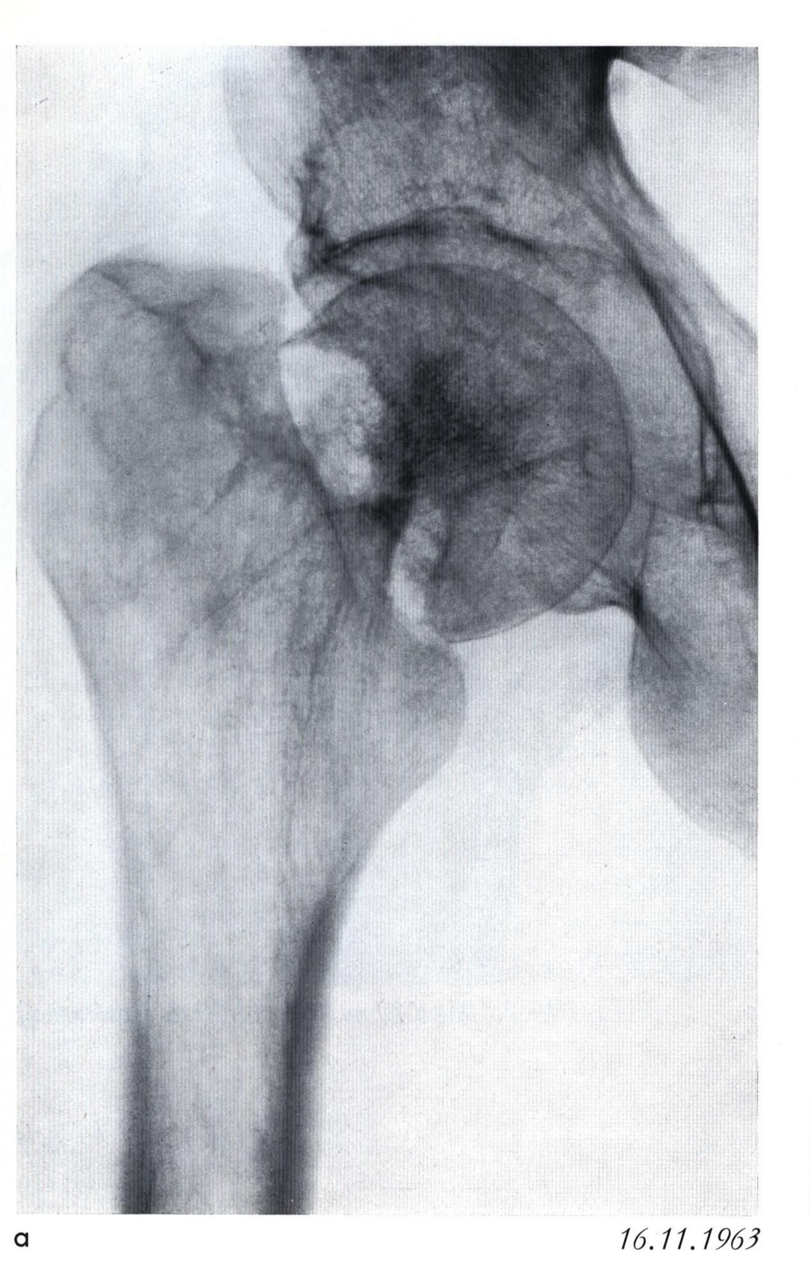
Fig. 135a et b



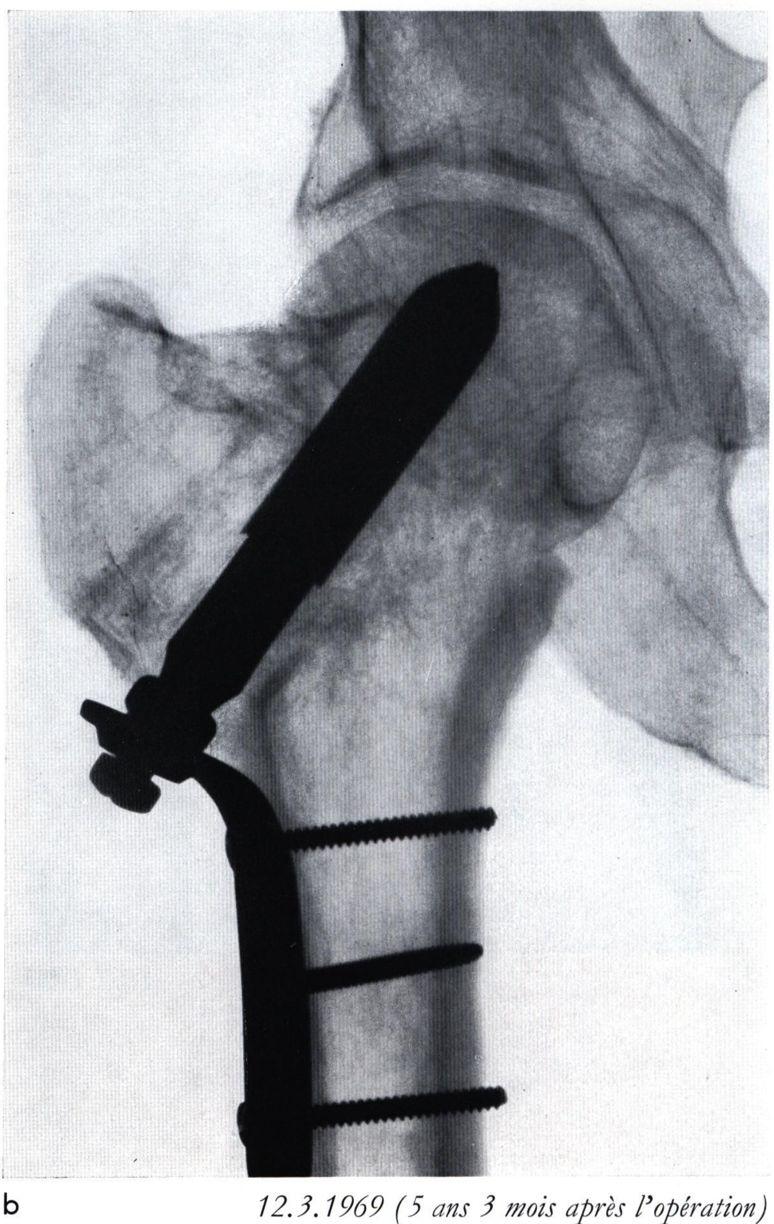
b 10.7.1957



c *19.2.1968 (10 ans 10 mois après l'opération)*



a *16.11.1963*



b *12.3.1969 (5 ans 3 mois après l'opération)*

Fig. 136a–d
W. B., ♂, né le 23.10.1905,
Accident le 21.6.1962,
Opération le 26.12.1963
(1 an 6 mois après l'accident)

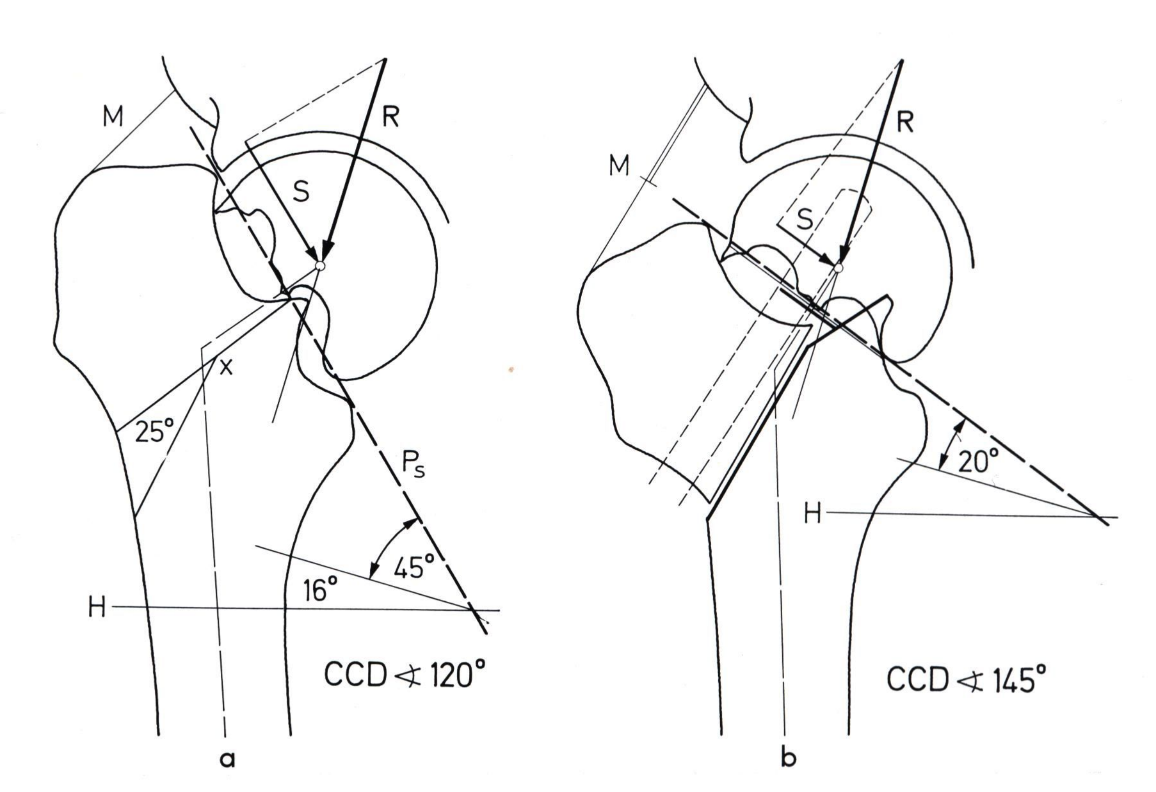
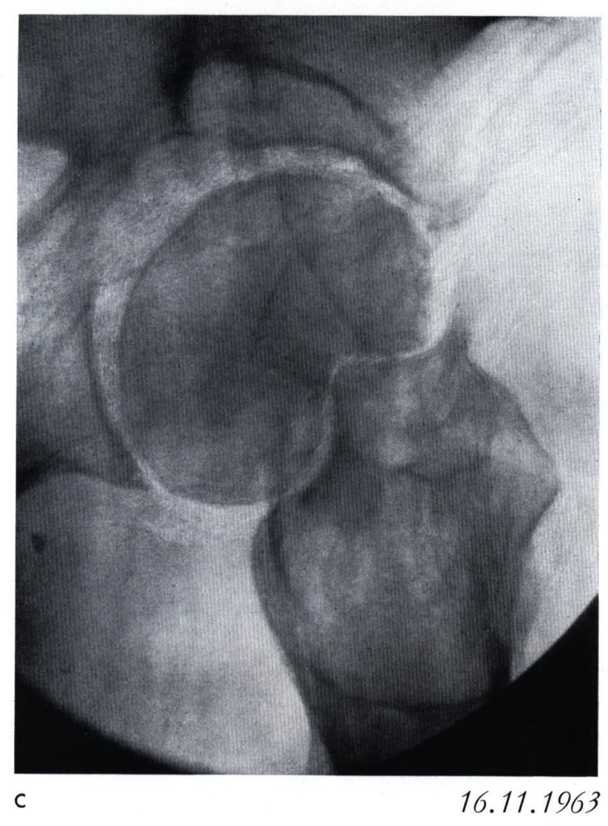
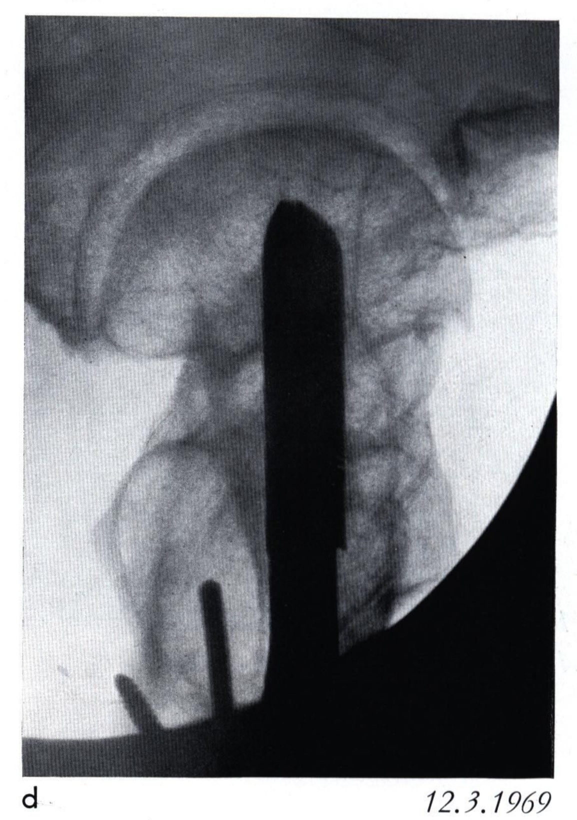


Fig. 137a et b



c  *16.11.1963*



d *12.3.1969*

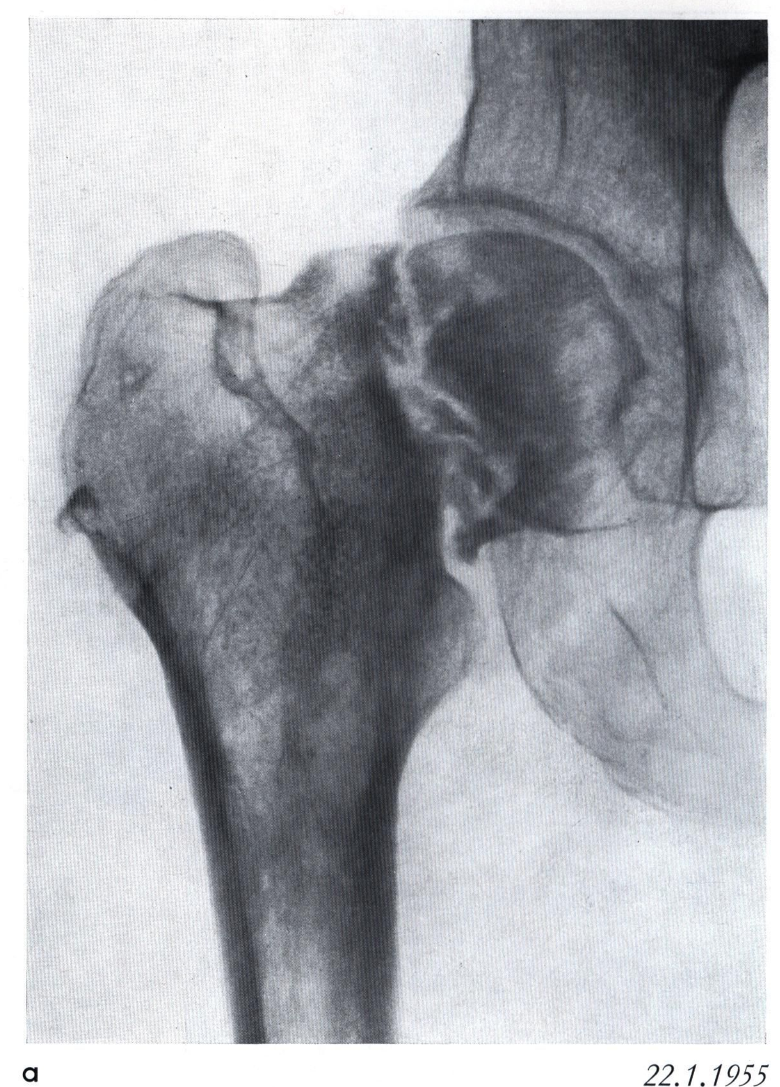


Fig. 138a–c
A. M., ♂, né le 14.3.1908, Accident le 31.8.1953, Opération le 1.2.1955 (1 an 5 mois après l'accident)

a *22.1.1955*

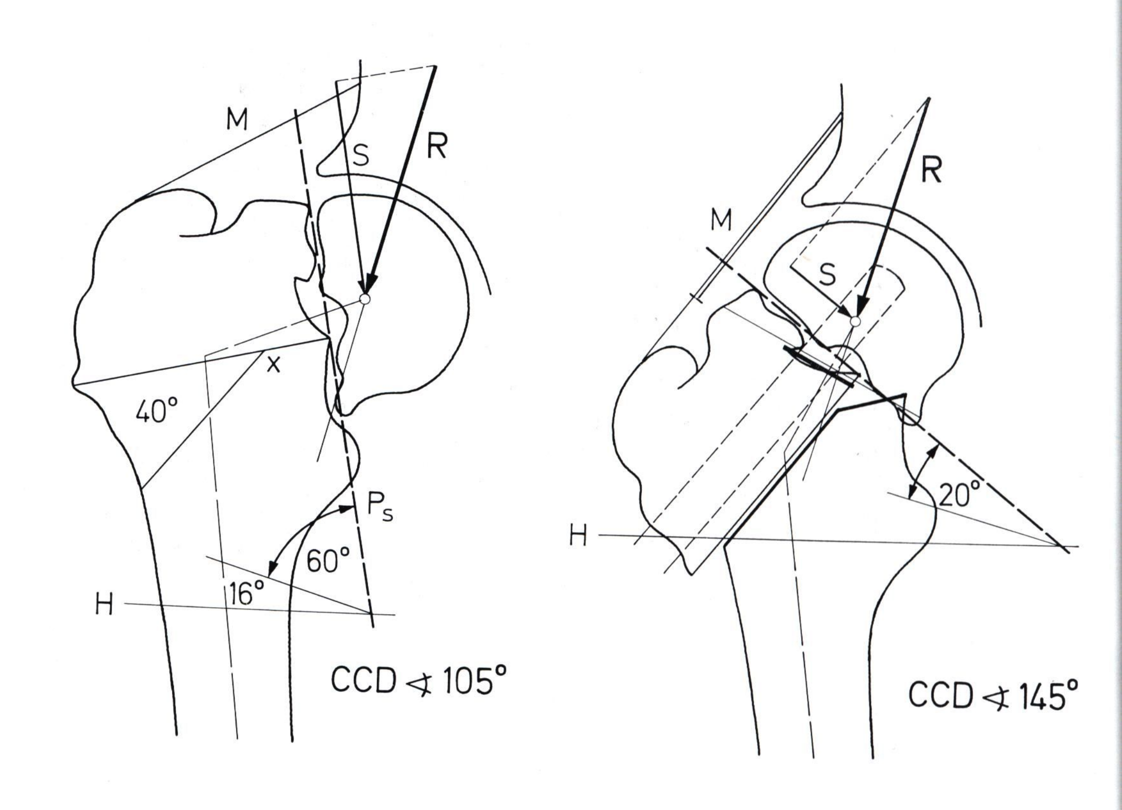
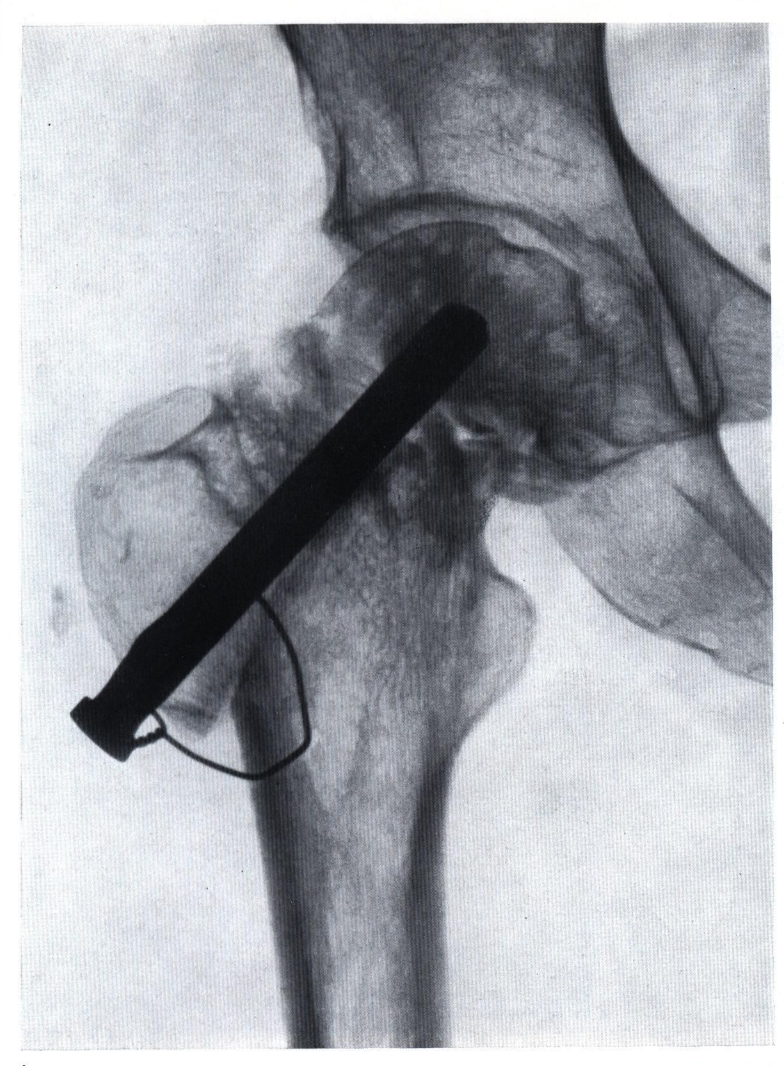
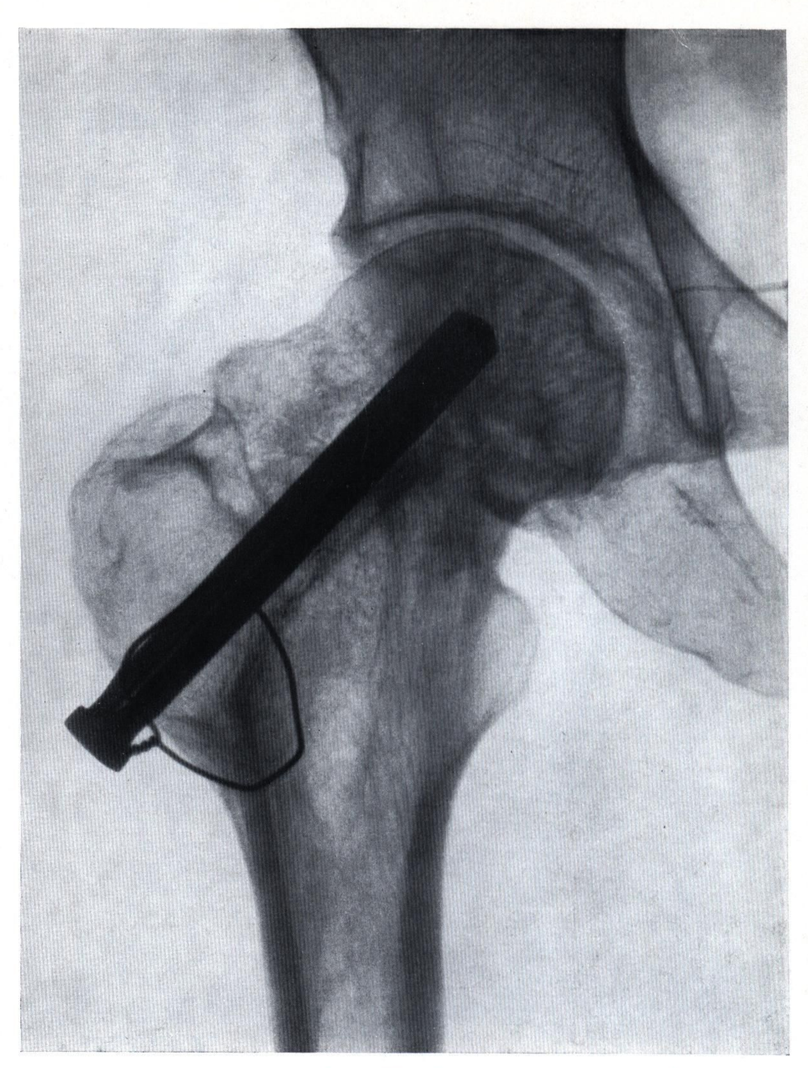


Fig. 139a et b

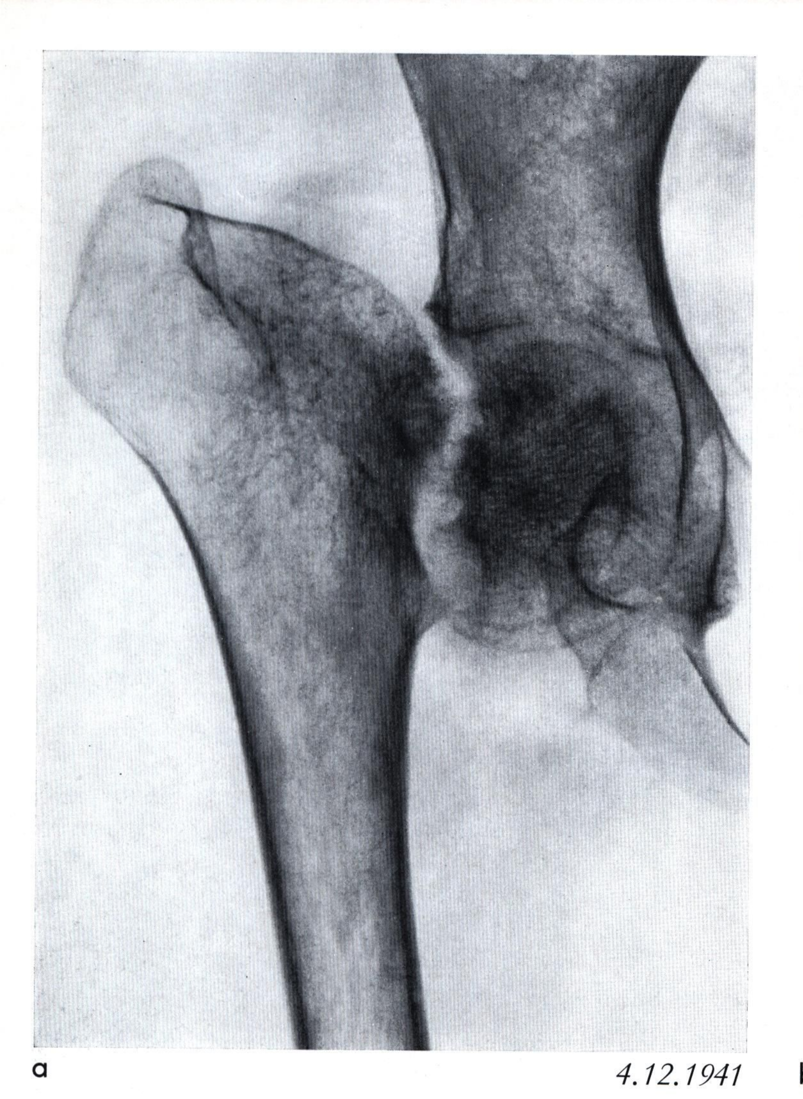
a b



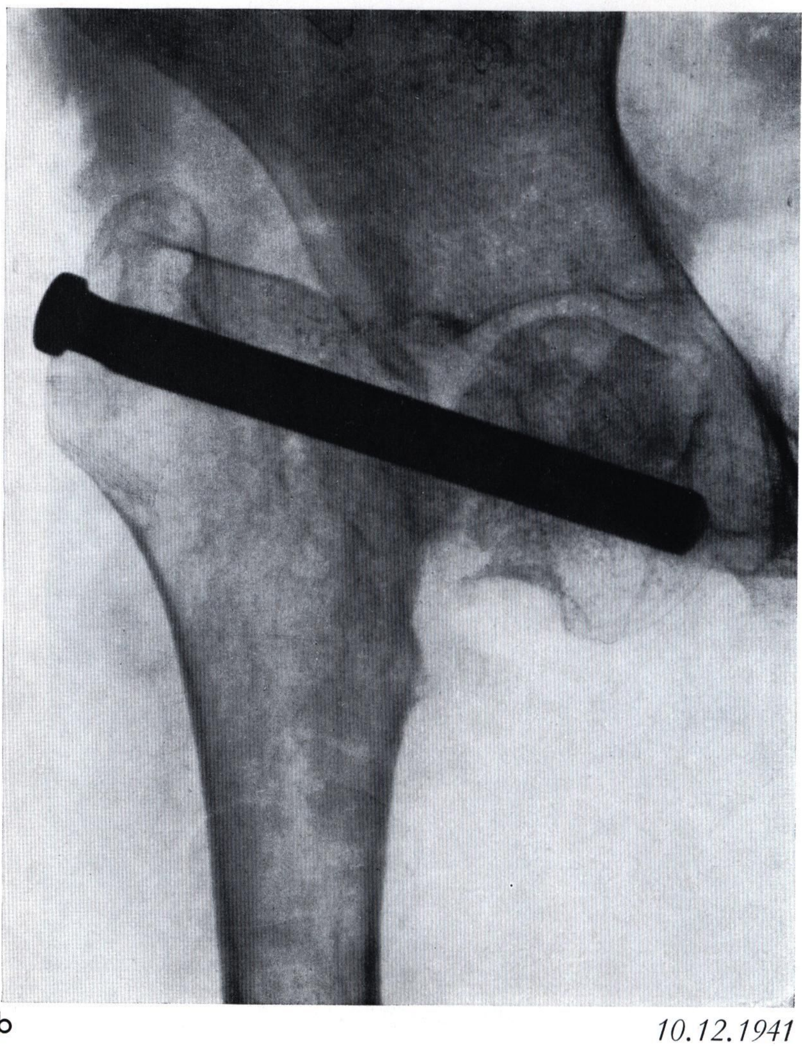
b *28.3.1955*



c *10.3.1957 (2 ans 1 mois après l'opération)*

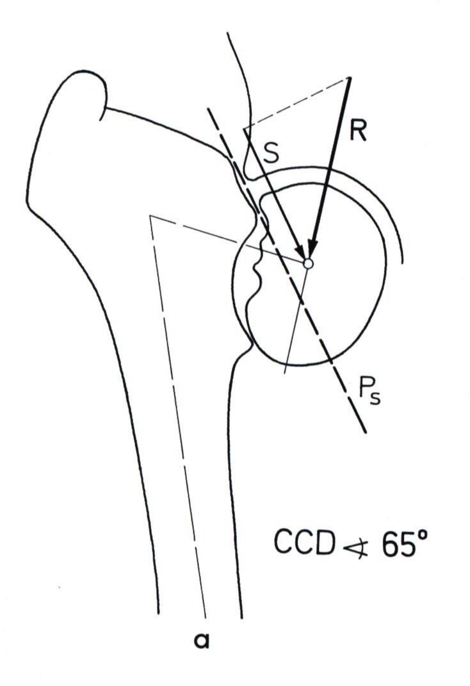


a 4.12.1941



b 10.12.1941

Fig. 140a–d
A. G., ♀, née le 15.1.1926, Accident le 26.6.1940, Opération le 10.12.1941 (1 an 5 mois après l'accident) : Réorientation par ostéotomie en Y après traction préalable et fixation des fragments par un clou



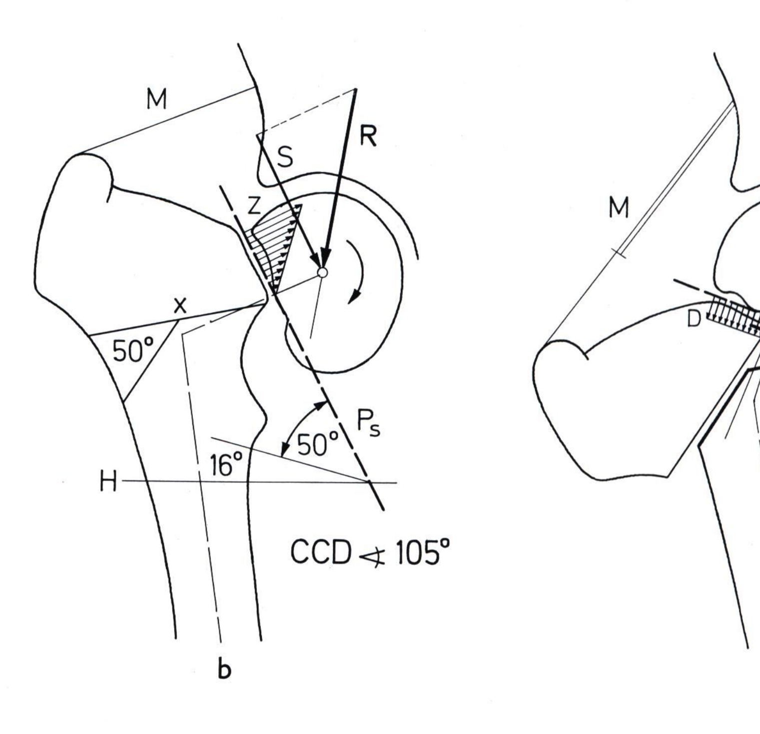
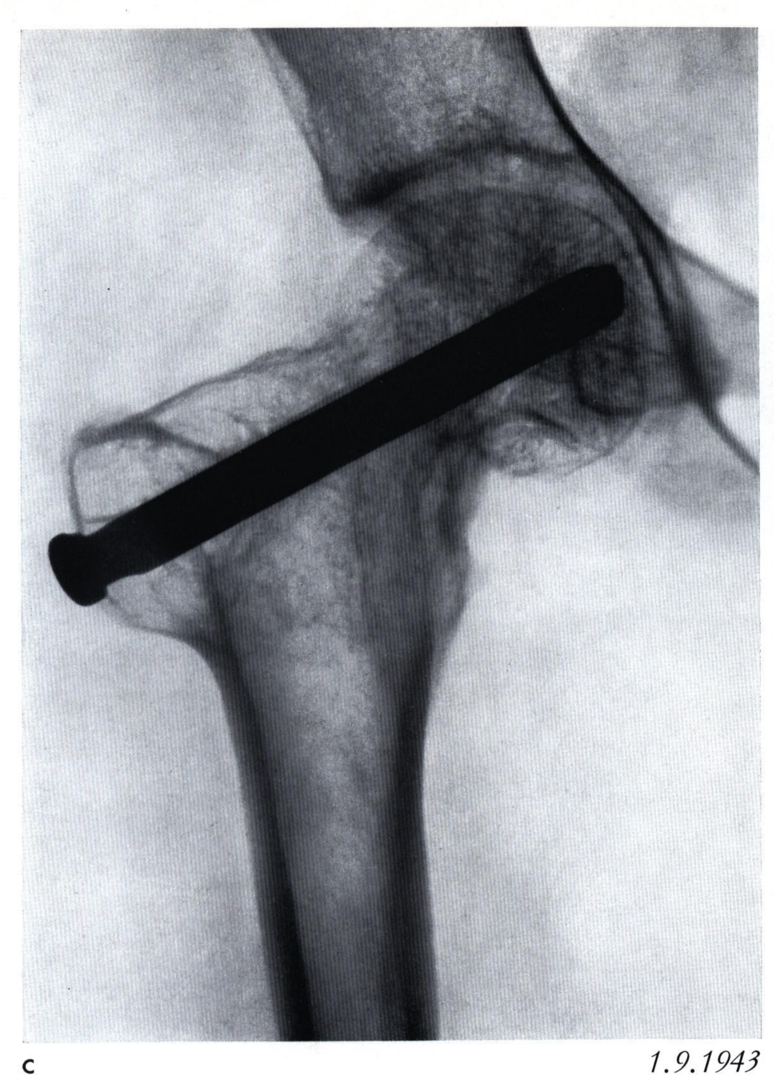
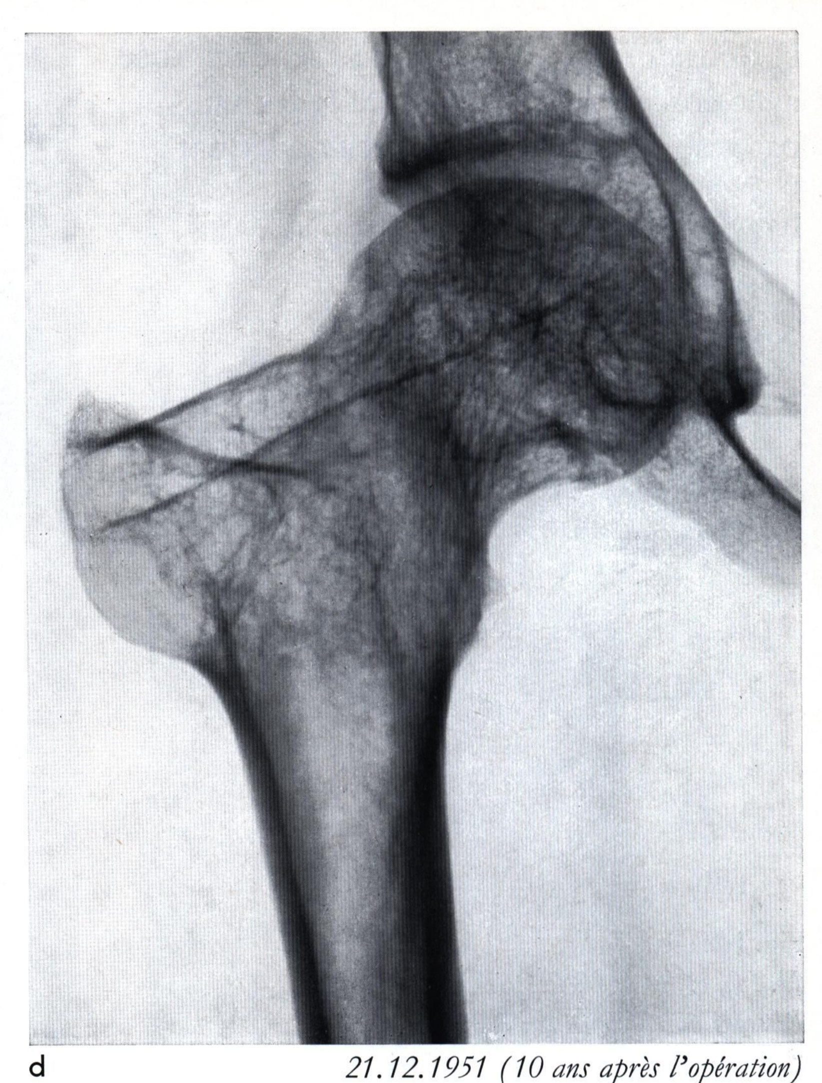


Fig. 141a–c



c 1.9.1943



d *21.12.1951 (10 ans après l'opération)*

f) Réorientation du foyer de pseudarthrose avec correction plastique de la forme par résection d'un coin osseux adéquat

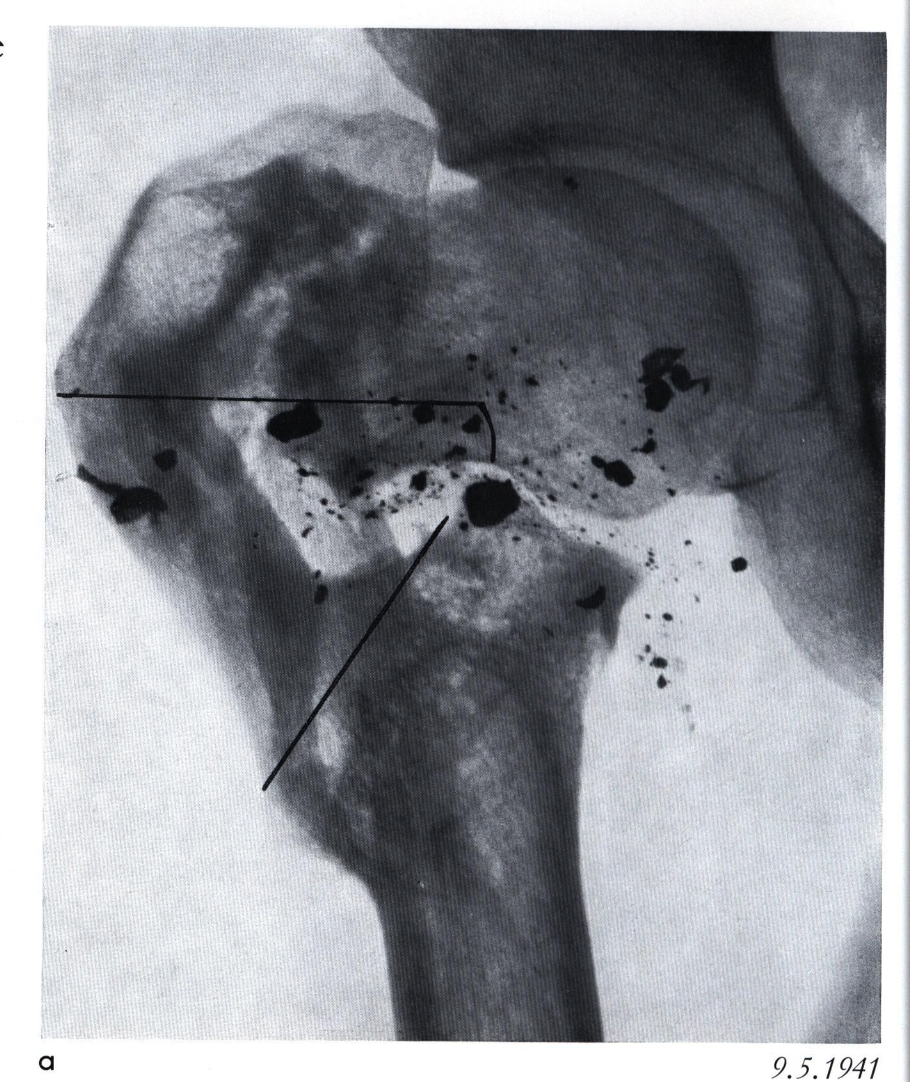


Fig. 142a–c
H. H., ♂, né le 12.2.1914,
Blessure par balle en mai 1940,
Opération le 3.10.1941 (1 an 5 mois après la fracture)

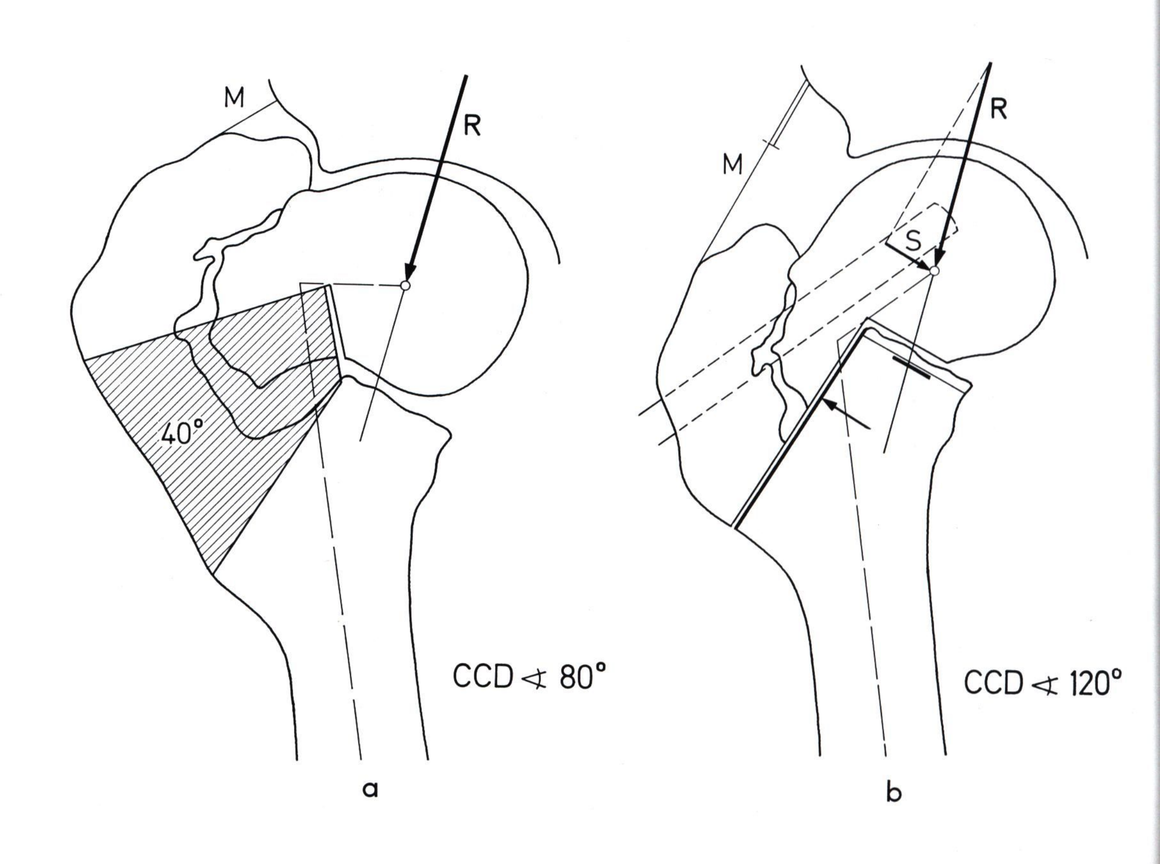
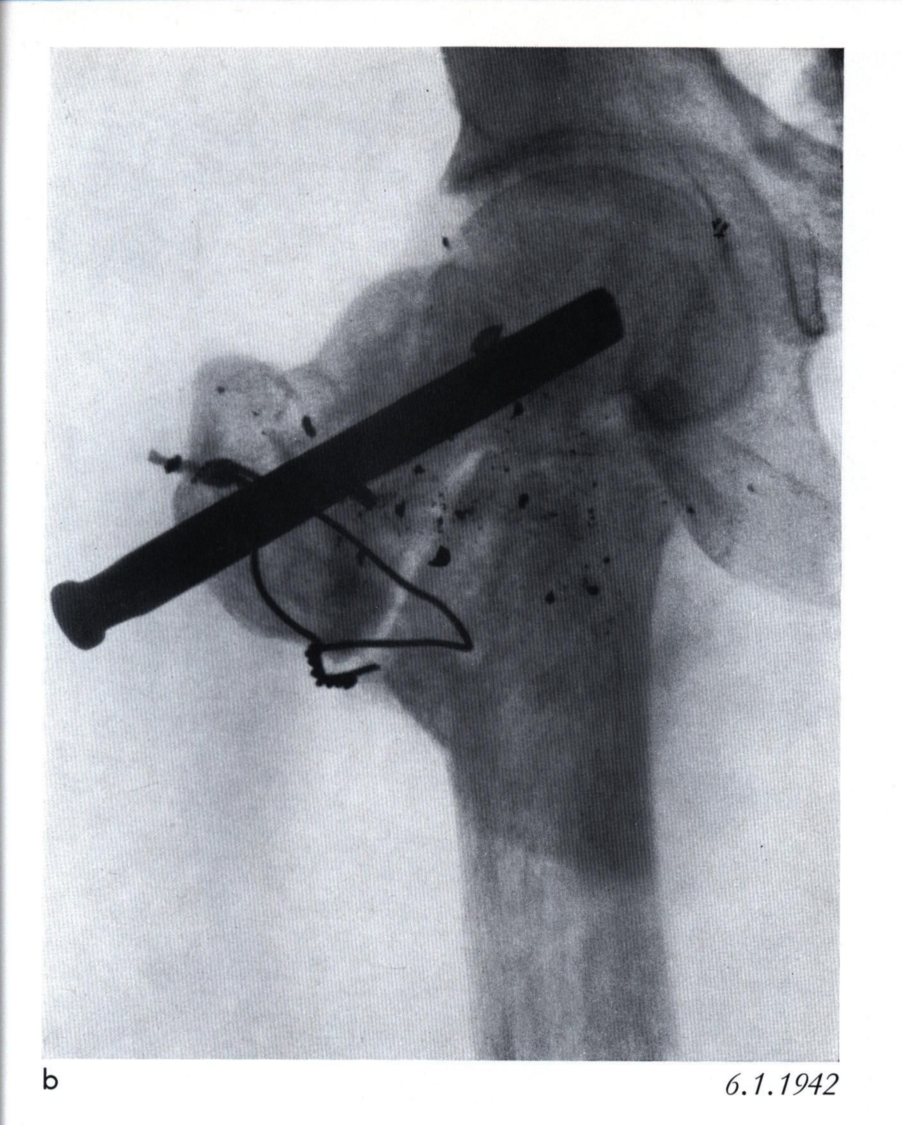
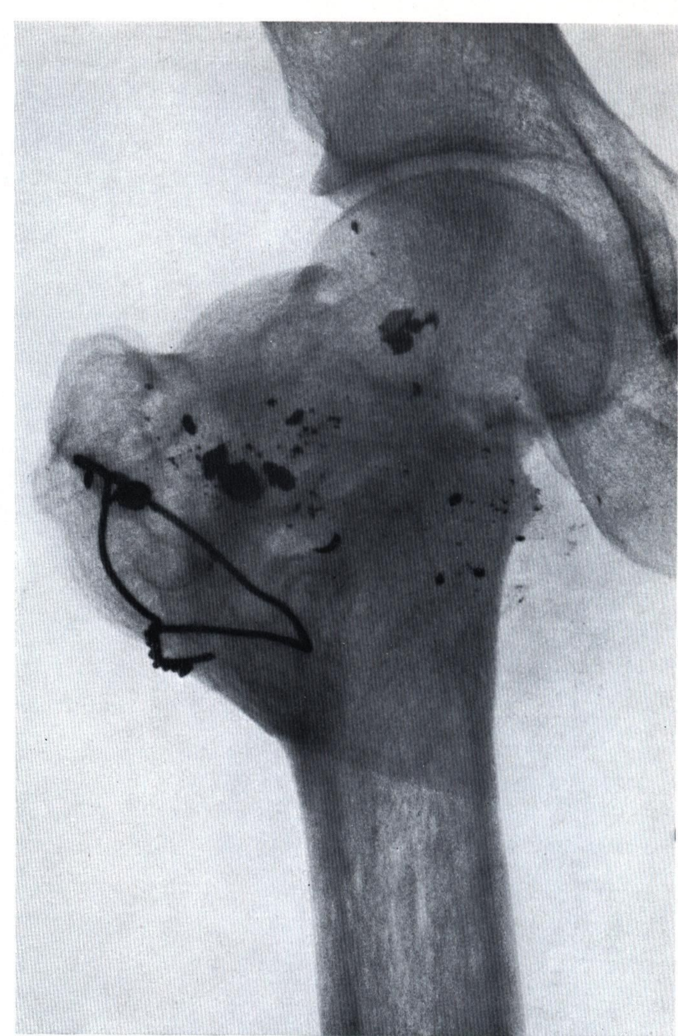


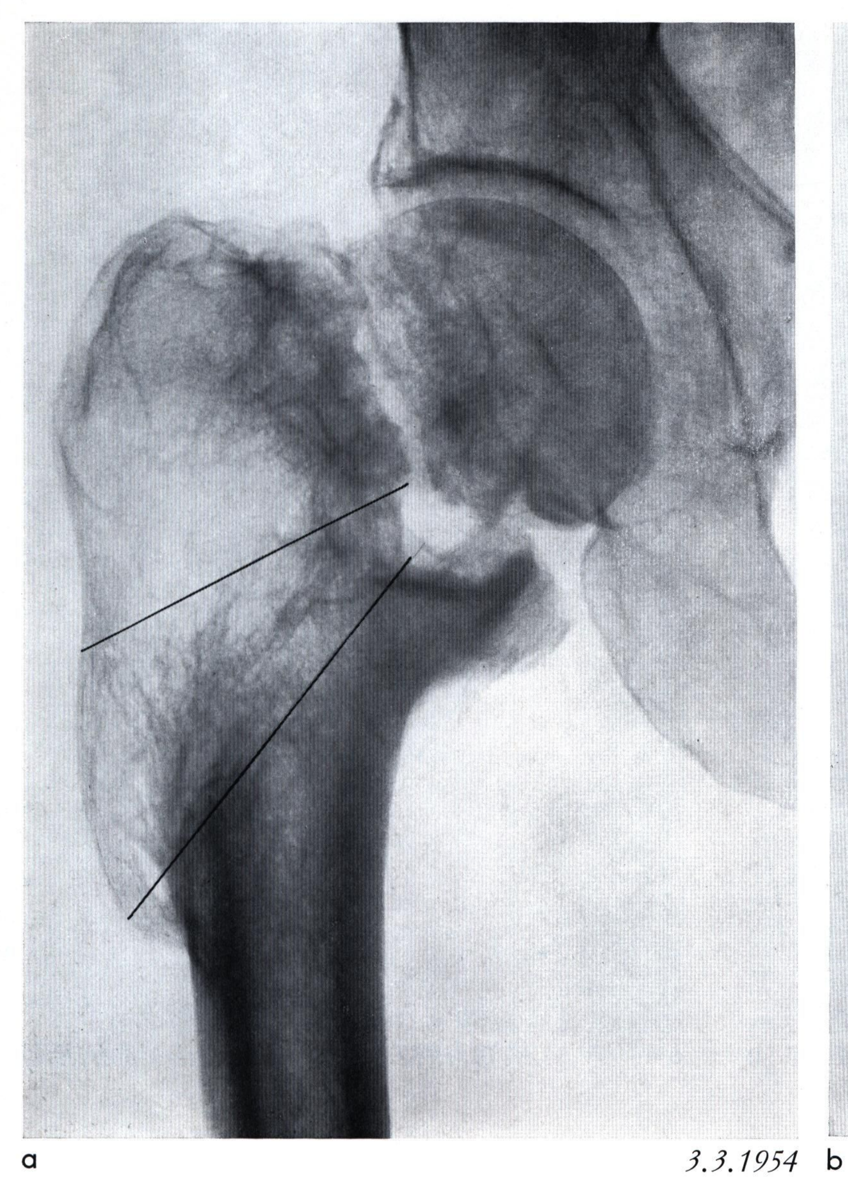
Fig. 143a et b



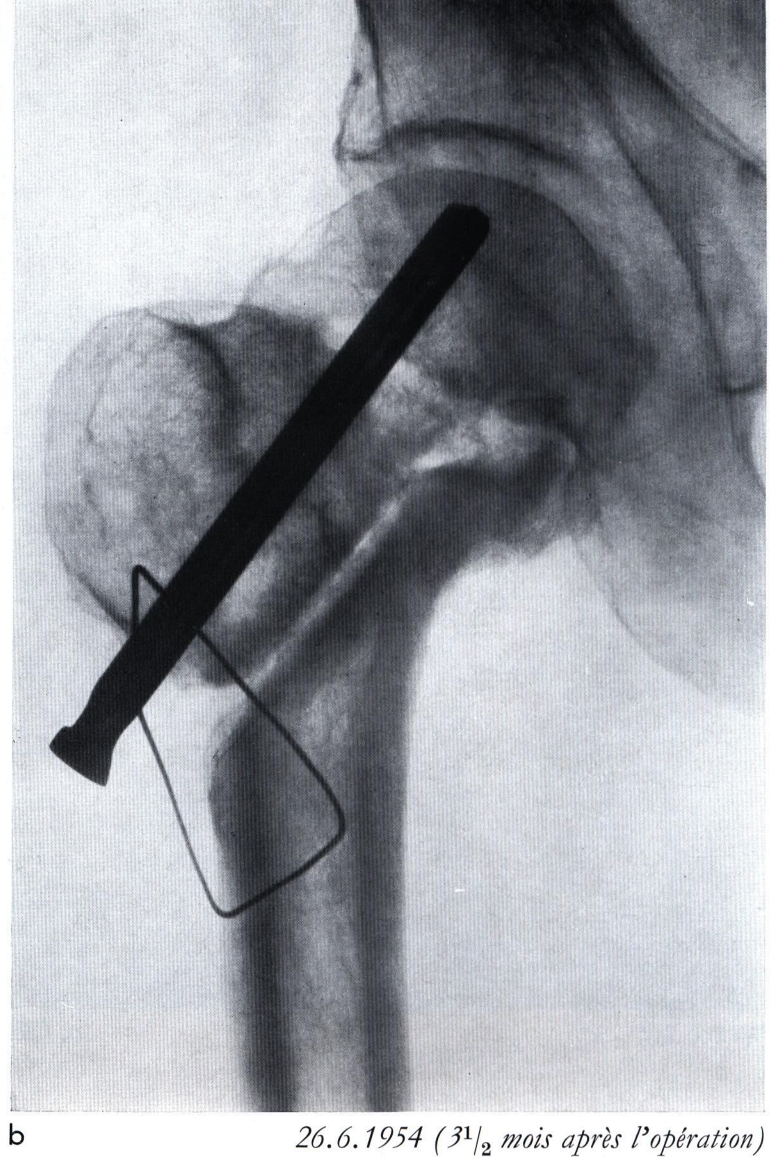
b 6.1.1942



c 27.11.1942 *(1 an 1 mois après l'opération)*

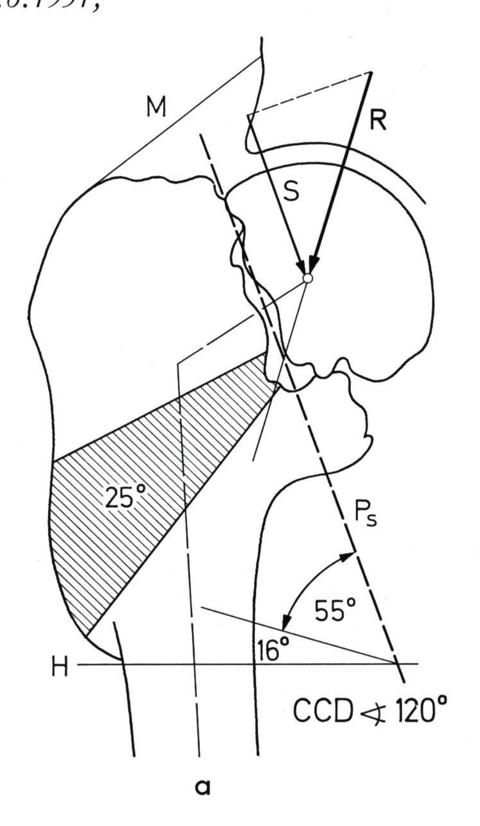


a 3.3.1954



b 26.6.1954 (3½ mois après l'opération)

Fig. 144a et b
H. R., ♂, né le 23.11.1892, Accident le 17.6.1951,
Opération le 4.3.1954
(2 ans 9 mois après l'accident)



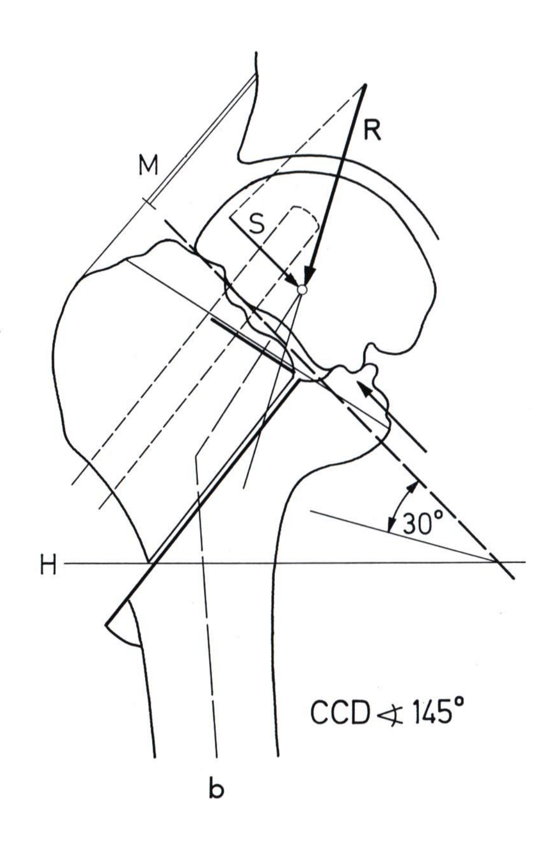
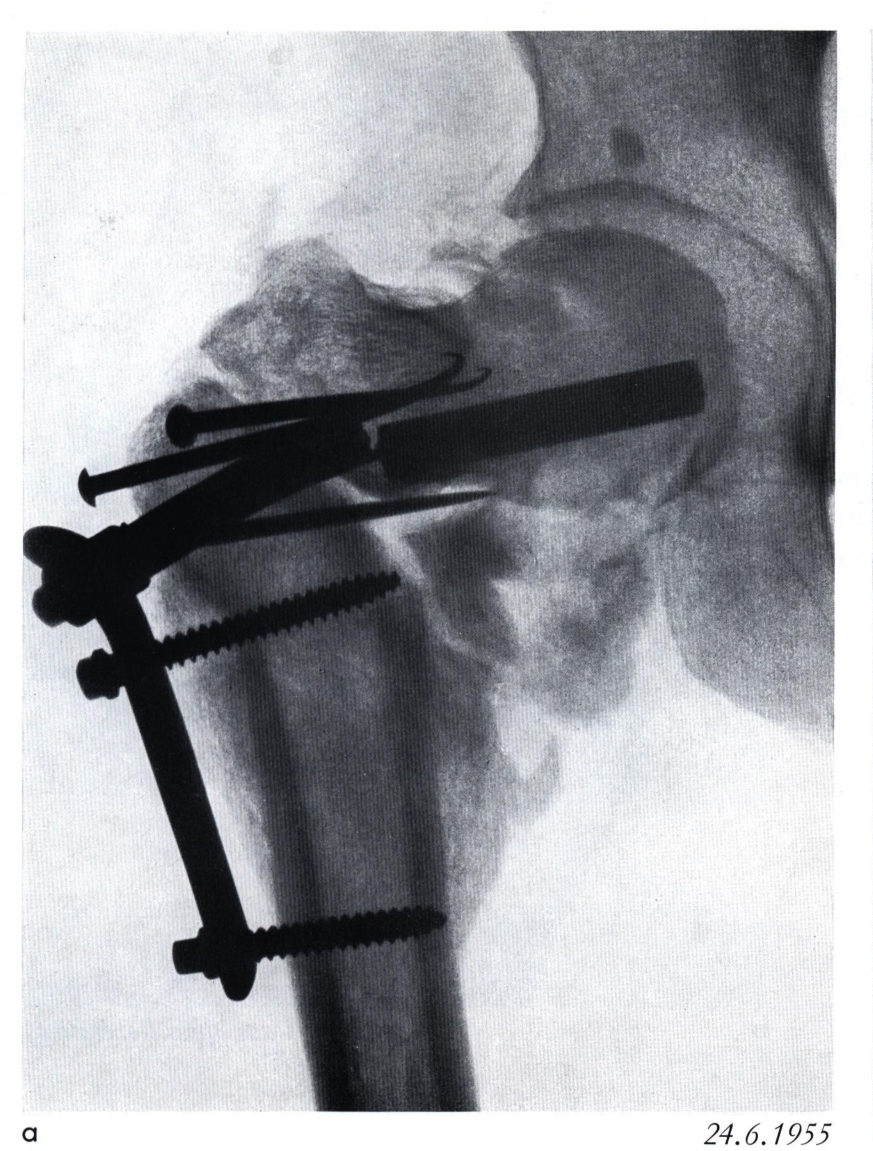
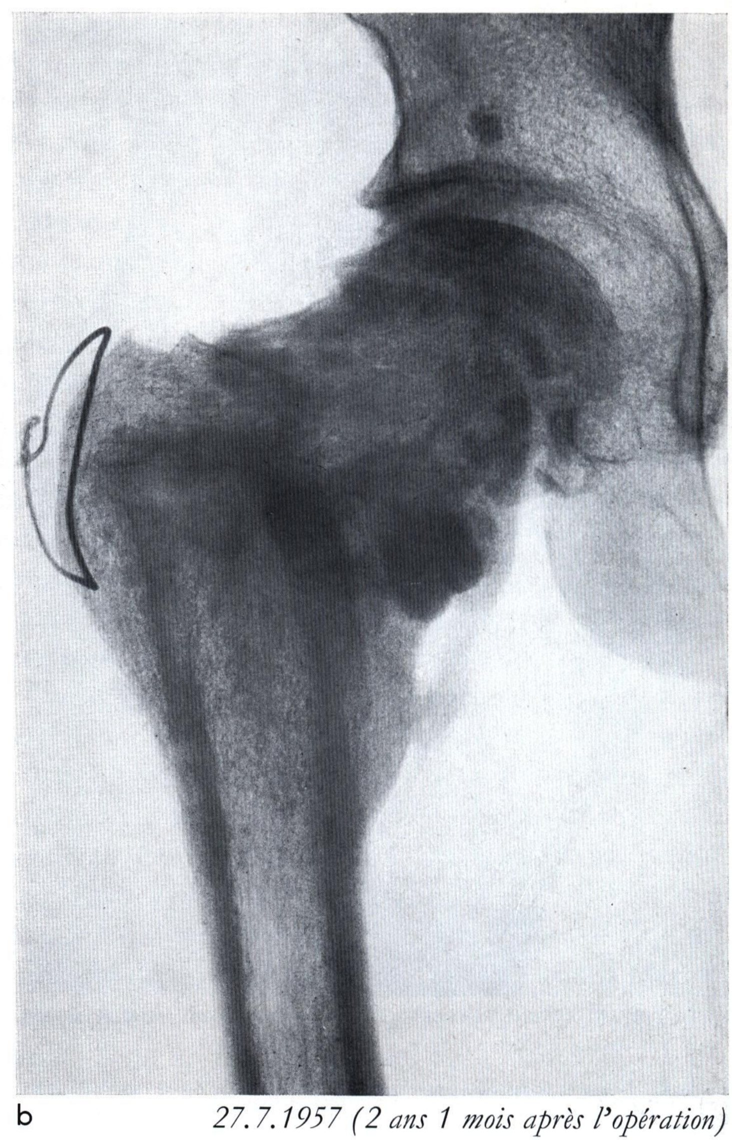


Fig. 145a et b





a *24.6.1955* b *27.7.1957 (2 ans 1 mois après l'opération)*

Fig. 146a et b
K. S., ♂, né le 20.3.1928, Accident le 1.8.1954, Opération le 7.7.1955 (11 mois après l'accident)

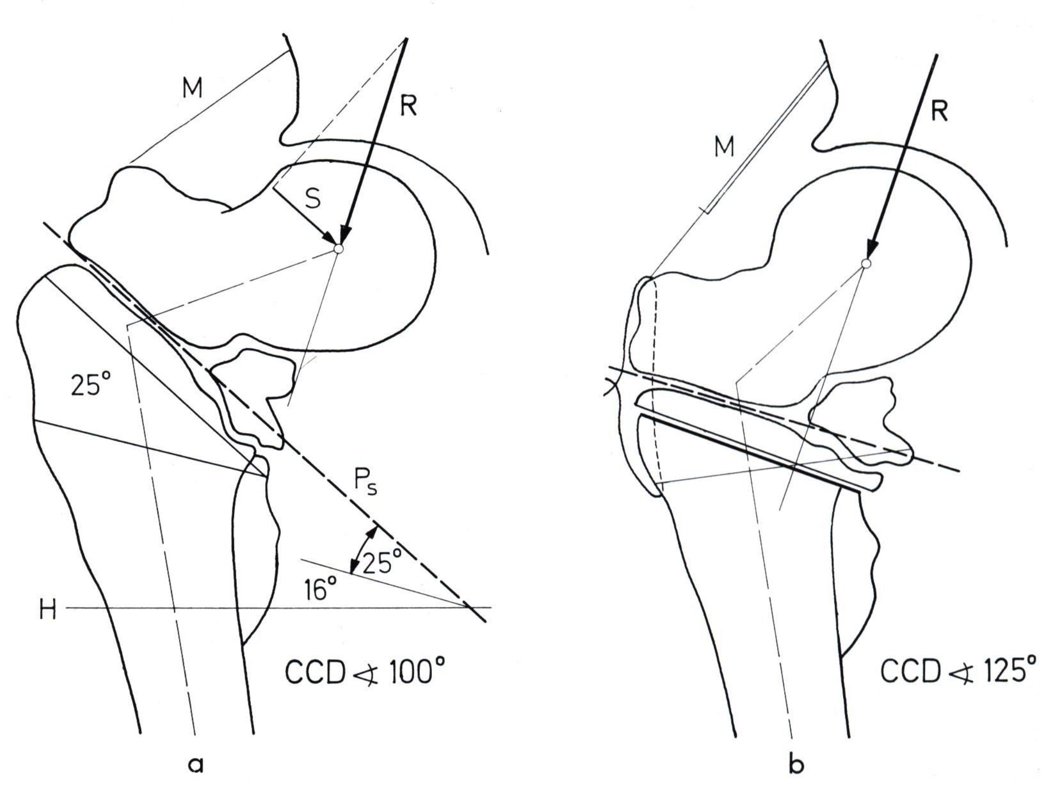
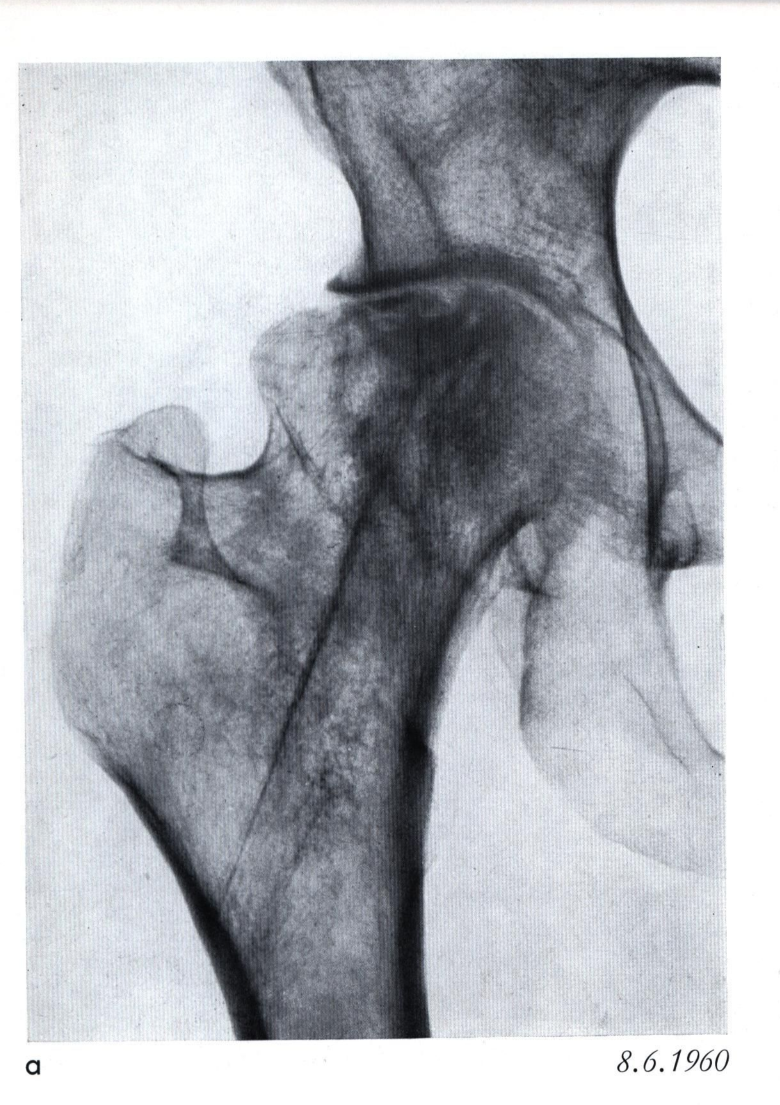
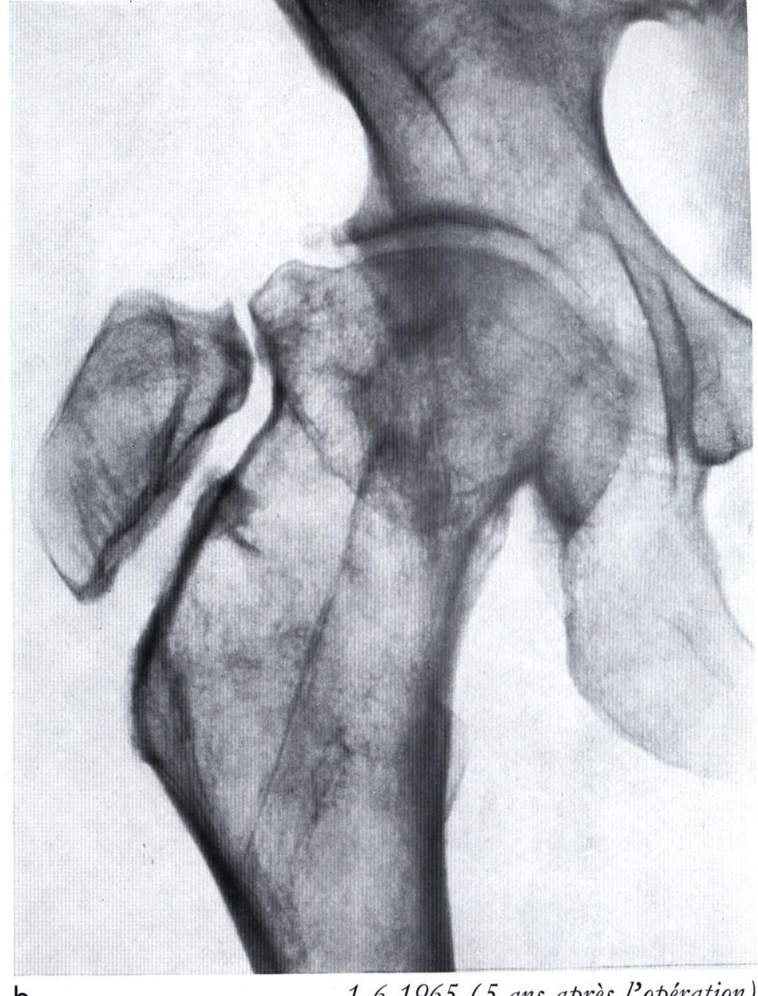


Fig. 147a et b



a 8.6.1960



b 1.6.1965 (5 ans après l'opération)

g) Traitement de la nécrose ischémique de la tête fémorale

Le sort de la fracture du col fémoral dépend de la qualité de la sollicitation, c-à-d du cisaillement. Dans la nécrose ischémique de la tête fémorale tout comme dans la coxarthrose, c'est la grandeur de la sollicitation qui détermine l'évolution de la maladie.

Par conséquent, une thérapeutique causale de la nécrose ischémique de la tête fémorale, tout comme le traitement de la coxarthrose (pages 129 et suivantes), devra restaurer l'équilibre perturbé entre la résistance des tissus malades et la grandeur de la sollicitation mécanique, en réduisant la pression articulaire.

Si les contours de l'articulation ne sont que peu modifiés par effondrement d'une petite zone (fig. 148a et c), la congruence des surfaces articulaires est pratiquement conservée et la pression articulaire n'est que peu augmentée. Il suffit alors de diminuer la grandeur de la force de compression agissant sur l'articulation par la ténotomie de *Voss* à laquelle on ajoute celle du psoas-iliaque (fig. 148b). Durant plusieurs mois, la hanche est ensuite déchargée par l'utilisation de deux cannes-béquilles. Nous décrirons plus en détail le même traitement pour la coxarthrose avec persistance d'une bonne congruence des surfaces articulaires.

Fig. 148a–c
H.J., ♀, née le 4.1.1932,
Accident le 30.9.1957,
Opération le 14.6.1960 (2 ans 8 mois après l'accident)



c

Mais si l'effondrement de zones nécrotiques plus étendues a rendu incongruentes les surfaces articulaires (fig. 150), la pression articulaire est pathologiquement augmentée et concentrée dans une région exiguë, le plus souvent au rebord du cotyle. Dans ces conditions, l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII, voir pages 150 et suivantes) constitue la méthode de choix. Elle répartit la pression articulaire élevée sur des surfaces plus étendues et, ce faisant la réduit de telle sorte que la nécrose guérit. L'expérience le démontre.

Les radiographies (fig. 149a et b) sont celles du premier cas de nécrose ischémique de la tête fémorale postfracturaire que je pus guérir par une ostéotomie valgisante d'abduction exécutée en 1959. Après l'opération, la douleur a complètement disparu, les mouvements ont retrouvé une amplitude normale. Lors du dernier examen, 8 ans après l'intervention, la hanche fonctionnait normalement.

Le cas suivant est celui d'un confrère de 49 ans. Après une fracture du col fémoral survenue en 1954, le patient avait développé une pseudarthrose et une nécrose de la tête fémorale dont le contour est profondément altéré (fig. 151a). En conséquence la pression articulaire anormalement élevée ne se transmettait que par une petite zone arrondie de la tête fémorale en regard du rebord cotyloïdien. L'intensité de la pression articulaire entretenait la nécrose, et sa direction (sollicitation en cisaillement) la pseudarthrose.

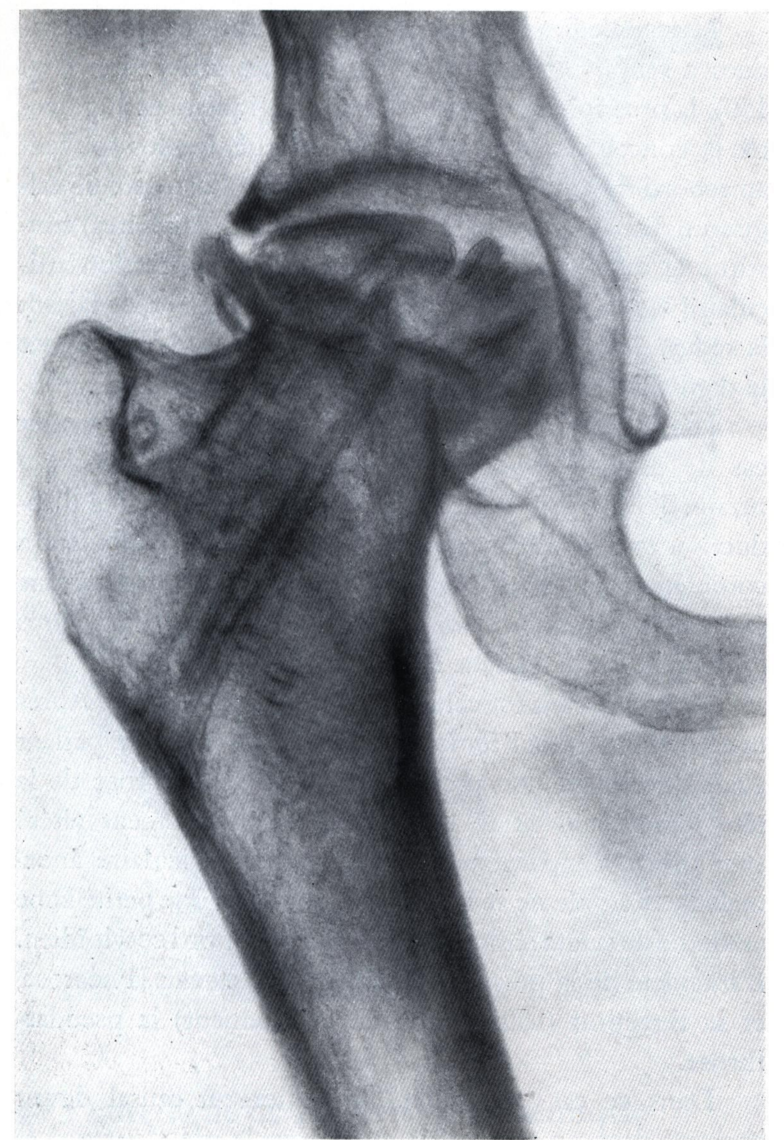
Dans ce cas particulier, un traitement causal devait changer dans un but précis aussi bien la grandeur que la direction de la sollicitation.

Comme le montra la préparation graphique (fig. 152a–c), ces deux exigences pouvaient être simultanément satisfaites par une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) avec résection d'un coin de 40°. L'opération:

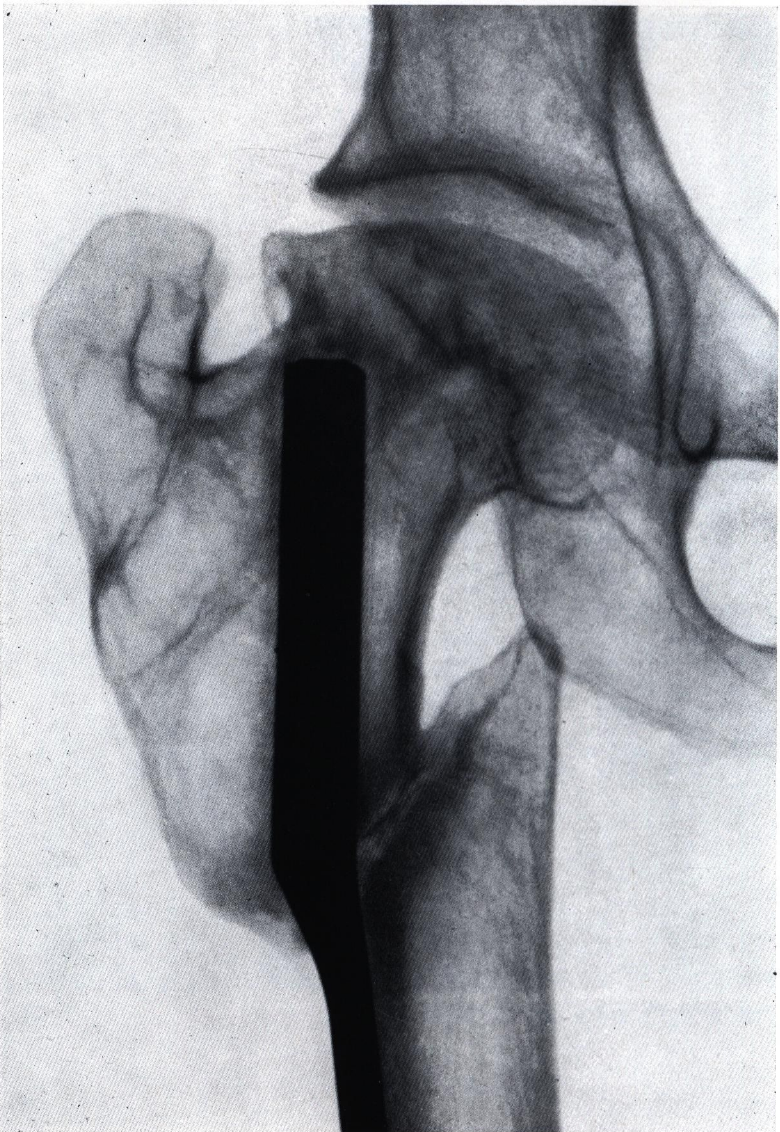
1. réduisit la pression articulaire en agrandissant considérablement la surface portante. Elle déchargea ainsi la zone en voussoir de la tête fémorale;

2. elle transforma en compression pure le cisaillement qui entretenait la pseudarthrose.

L'opération fut complétée par l'apport d'un greffon de banque. Elle entraîna la guérison relativement rapide de la pseudarthrose et de la nécrose. La hanche est indolore et normalement mobile. Le confrère a repris entièrement son travail très actif de chirurgien (fig. 151b).



a 25.6.1959



b 16.9.1967 (8 ans 3 mois après l'opération)

Fig. 149a et b
R. M., ♀, née le 28.8.1919,
Accident en 1956,
Opération le 26.6.1959 (3 ans après l'accident)

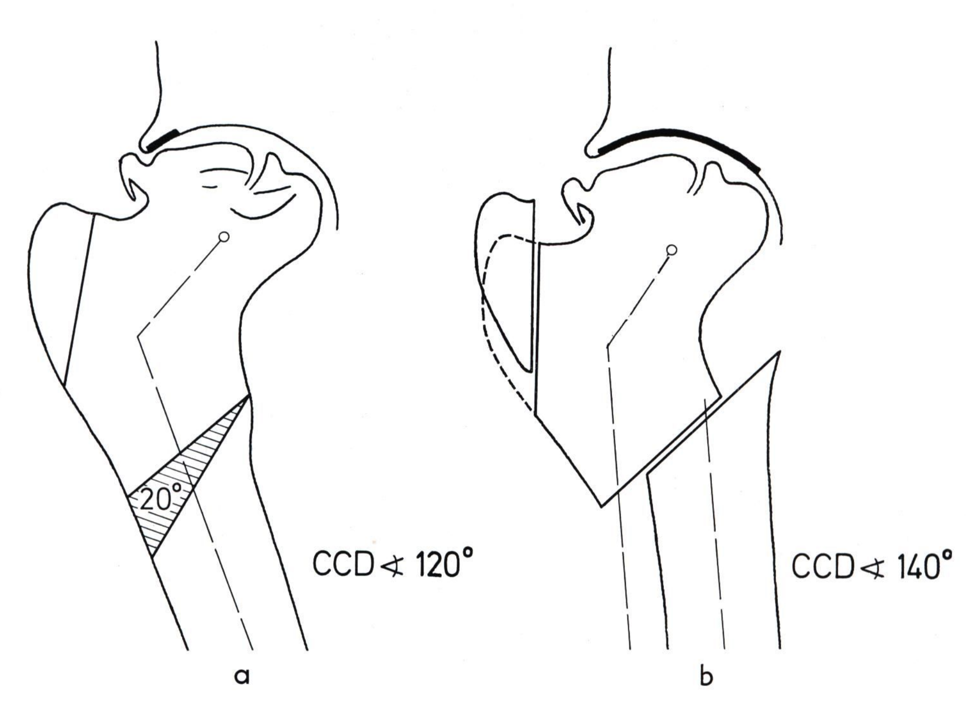
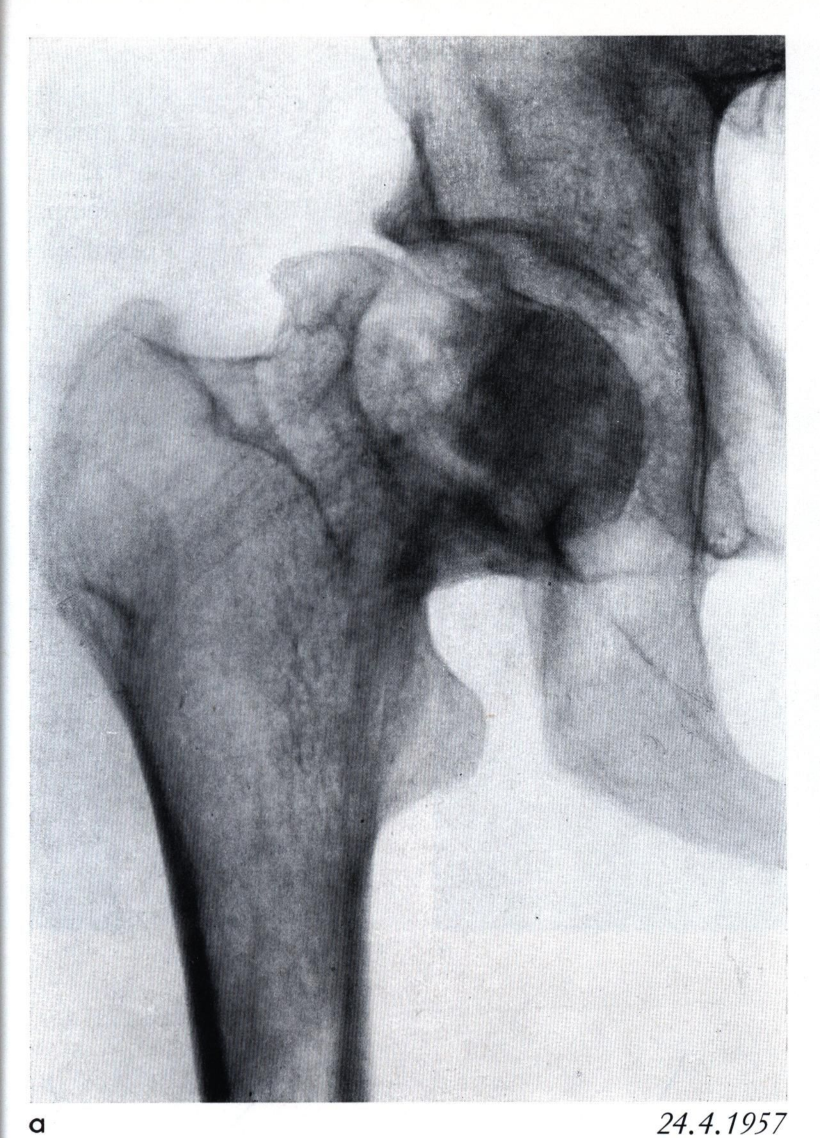
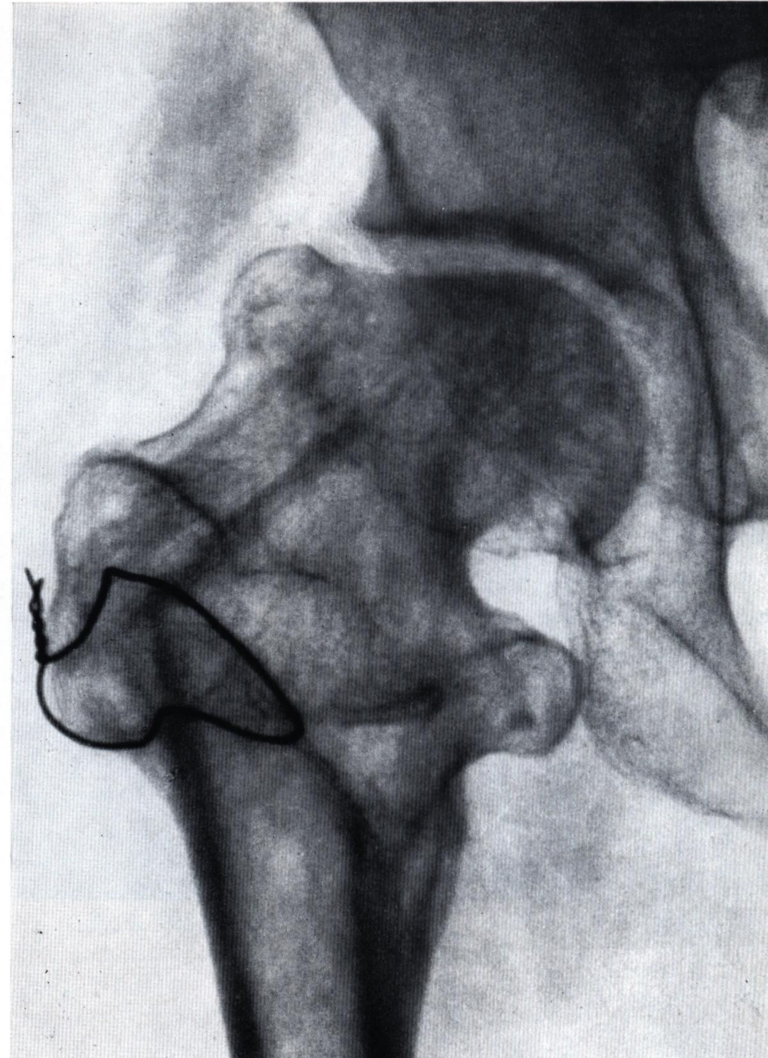


Fig. 150a et b

a *24.4.1957* b *16.9.1961 (4 ans 2 mois après l'opération)*

Fig. 151a et b
G. S., ♂, né le 15.6.1908,
Accident en 1954,
Opération le 2.7.1957 (3 ans après l'accident)

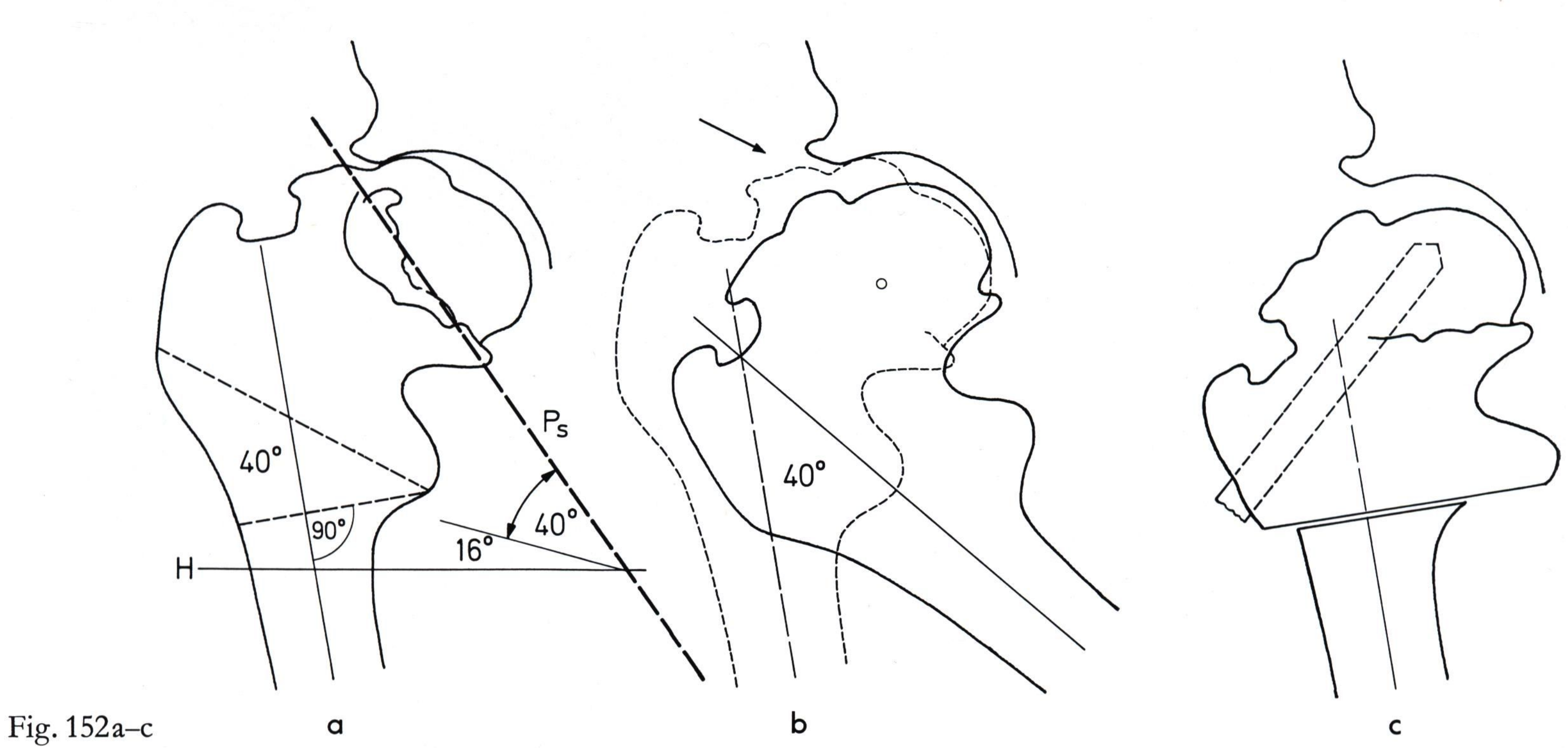


Fig. 152a–c

5. Reconstitution du col fémoral par une greffe osseuse

Parfois, dans l'enfance, une infection a résorbé presque tout le col fémoral et a laissé une pseudarthrose avec déformation très grave en coxa vara. Dans ces cas exceptionnels, seule une reconstitution du col fémoral par des greffons peut encore donner un résultat satisfaisant. C'est ce que démontre l'exemple suivant.

Une fille de 8 ans me fut présentée le 18.3.1953 avec l'image radiologique de la fig. 154a. Elle avait été traitée ailleurs — entre 1948 et 1950 — pour une ostéomyélite du col fémoral droit. Une ostéotomie de redressement avait encore été réalisée le 10.10.1951 pour corriger la déformation existante.

Après préparation de l'opération maintenant nécessaire (fig. 153a–c), le 20.3.1953 le grand trochanter fut d'abord transplanté vers le bas grâce à une résection cunéiforme, et la tête du fémur fut fixée en meilleure position par des broches de Kirschner (fig. 153b). Dans un second temps, le 29.4.1954, le col du fémur fut remplacé par deux greffons tibiaux situés de façon à subir la plus petite sollicitation possible (fig. 155f). La fig. 154b montre la radiographie prise sur table d'opération à la fin de ce second temps. Comme traitement postopératoire, un appareil de décharge fut utilisé durant 14 mois.

Les radiographies fig. 154c–f montrent l'évolution ultérieure.

La radiographie du 4.5.1965 (fig. 154f) met en évidence le résultat 11 ans après la reconstitution du col fémoral. Les mouvements de la hanche sont complets et l'articulation fonctionne normalement. Il n'y a pas de boîterie.

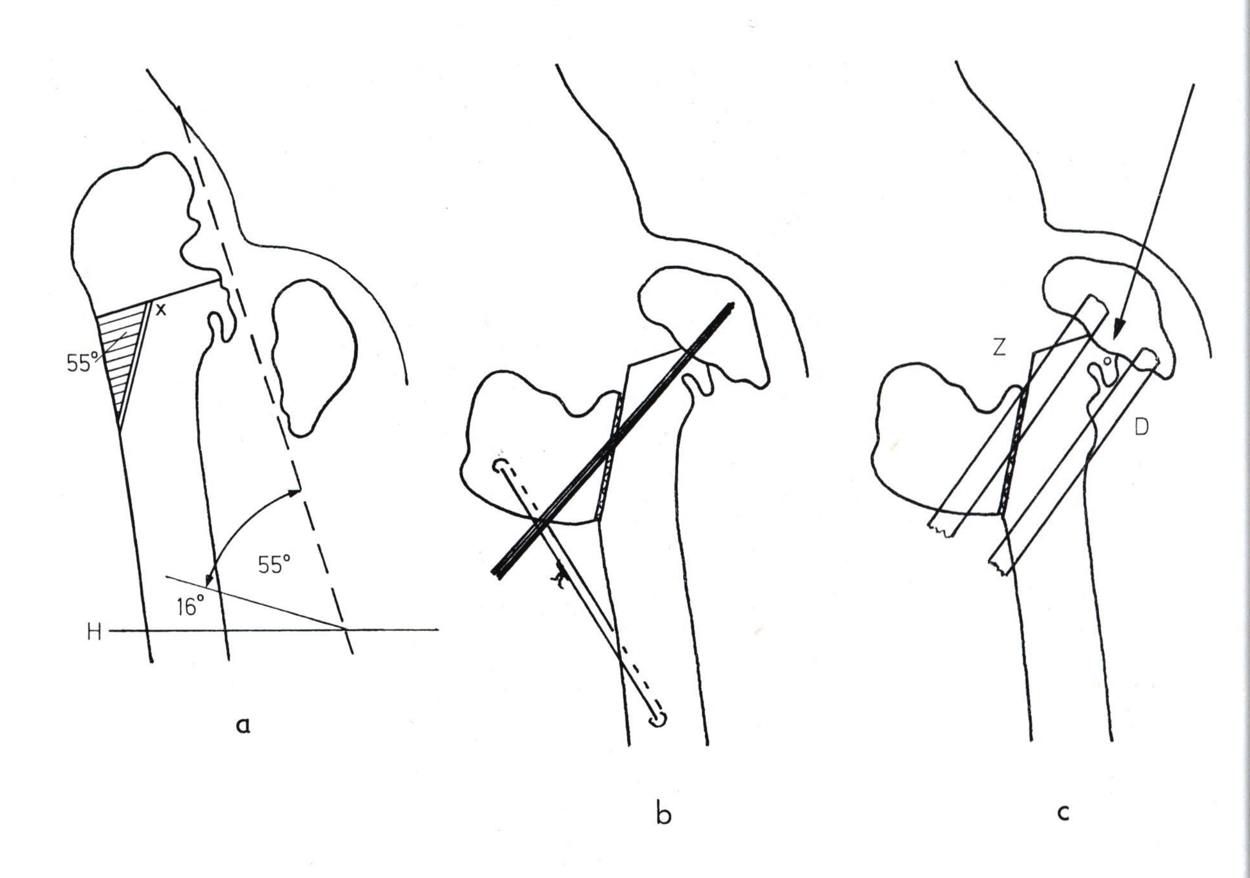


Fig. 153a–c

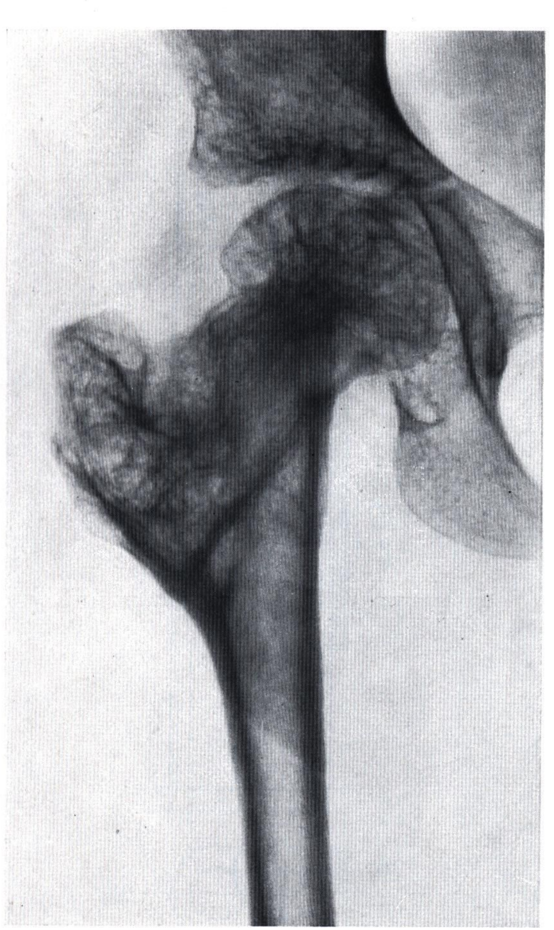
7.1.1953 b *29.4.1954* c *24.9.1954*

. 154a–f
F., ♀, née le 11.2.1945,
ération le 29.4.1954



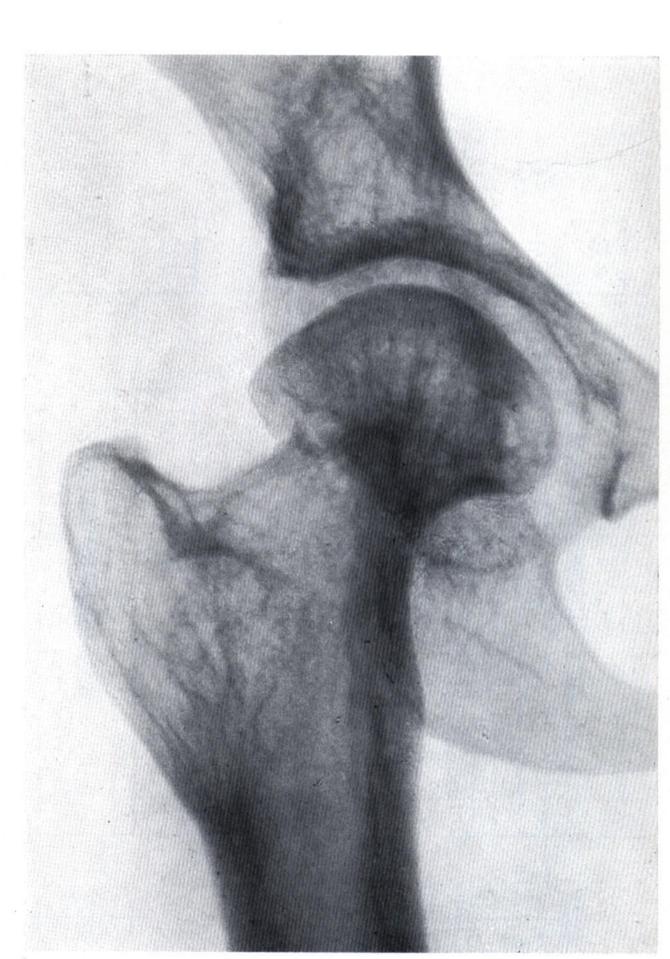
24.9.1954

e



16.2.1955

f



4.5.1965 (11 ans après l'opération),
Légende : voir texte

6. Influence de la situation d'un greffon par rapport à l'os, sur la grandeur de la sollicitation mécanique de ce greffon

Pour réaliser avec succès une transplantation osseuse, il faut d'abord connaître la grandeur de la sollicitation mécanique que subit la greffe. Elle détermine son destin et dépend de la situation du greffon par rapport a l'os. J'ai écrit antérieurement en détail à ce sujet[34]. C'est pourquoi je me limiterai maintenant à quelques indications.

Comme l'os tubulaire, les colonnes (fig. 155a–f) sont sollicitées en flexion par une force de compression excentrique. Pour garder des valeurs comparables, la charge de chaque colonne est identique, 10 kg, et tous les greffons ont en coupe la même surface.

Si, pour une fracture transversale sans chevauchement, le greffon est situé du côté des tractions (fig. 155a), il subit une sollicitation de 10 kg/cm² car il ne doit résister qu'aux contraintes de traction dues à la flexion. Les contraintes de compression dues à la flexion sont reprises par les extrémités des fragments.

Si le greffon est placé du côté opposé (fig. 155b), celui des compressions, sa sollicitation atteint 208 kg/cm². Elle est donc 21 fois plus grande parce que, dans cette situation, le greffon doit résister seul à toute la sollicitation en flexion.

Lorsqu'un greffon est utilisé pour ponter un défect, il subit une sollicitation beaucoup plus grande. Elle atteint 645 kg/cm² (fig. 155c) si le greffon est situé du côté des tractions dues à la flexion. Par contre, placé du côté des compressions, le greffon subit une sollicitation de 208 kg/cm² (fig. 155d).

Introduit dans la cavité médullaire (fig. 155e), le greffon est soumis à une sollicitation de 407 kg/cm² du côté des tractions, de 428 kg/cm² du côté des compressions.

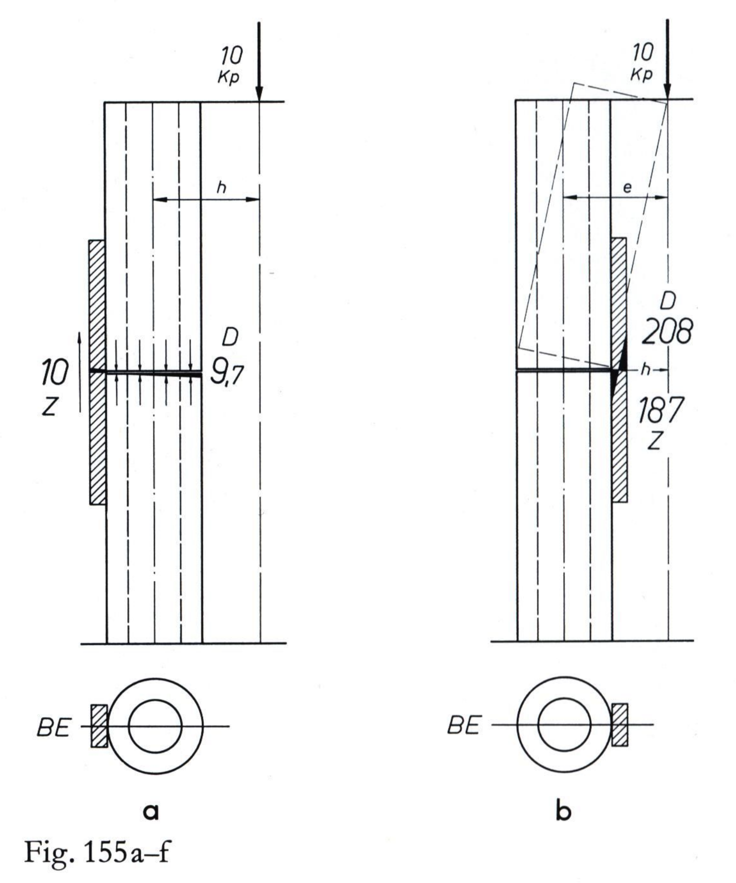
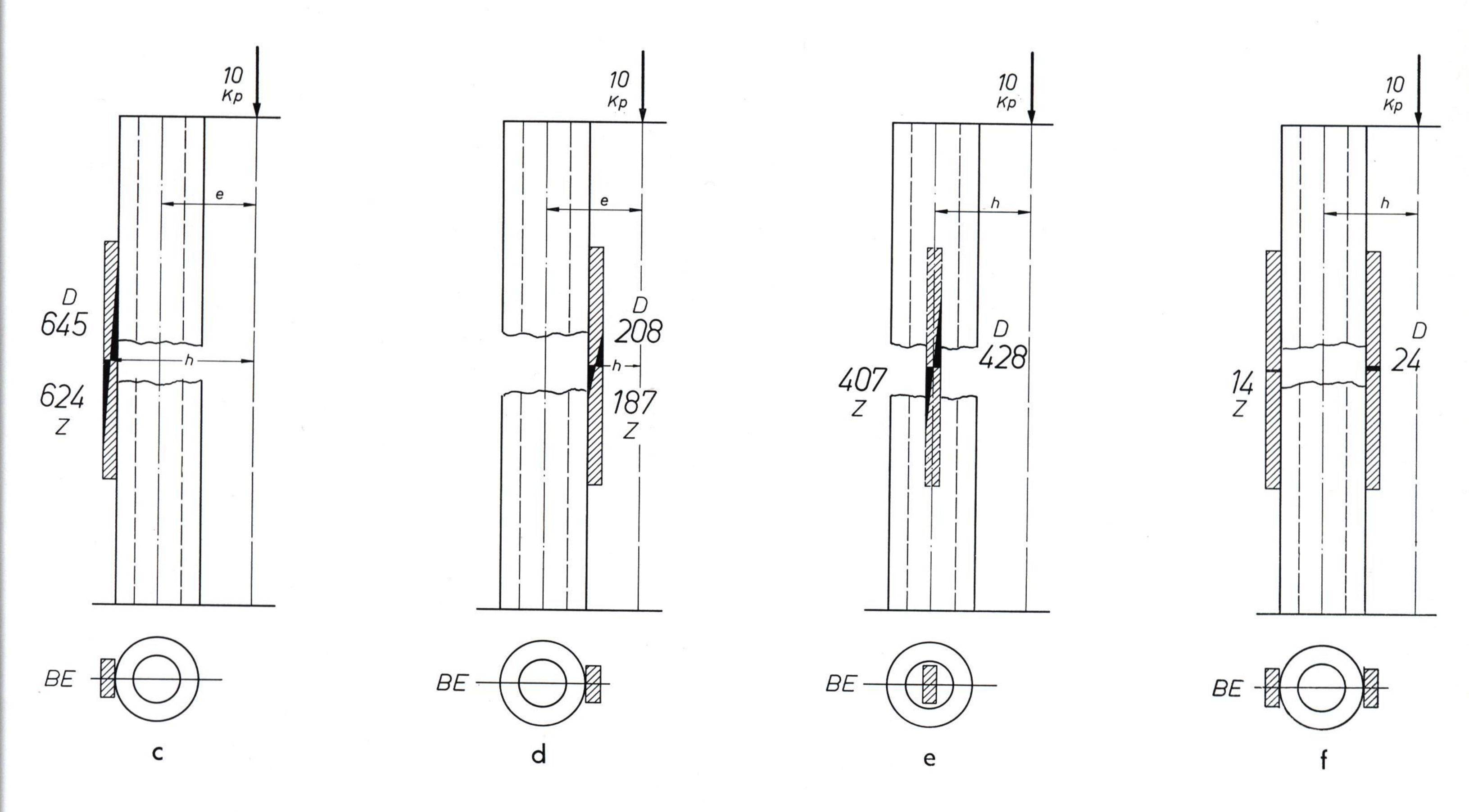


Fig. 155a–f

34 *Pauwels, F.;* Biomécanique de la greffe osseuse. Acta orthop. belg. **37**, 701–725 (1971).

Si le défect est ponté par deux greffons situés de part et d'autre contre l'os, dans le plan de flexion (fig. 155f), leur sollicitation vaut 24 kg/cm² du côté des compressions et 14 kg/cm² du côté des tractions. Elle ne représente qu'une fraction de la sollicitation du greffon utilisé seul pour ponter le défect (voir fig. 155c, d et e). Ceci s'explique par le fait que, si deux greffons sont utilisés, chacun d'eux n'est sollicité qu'en compression ou qu'en traction.

Comme l'indique l'exemple théorique, il faut toujours deux greffons pour ponter un défect.



C. Coxarthrose

1. L'affection et sa relation avec la mécanique

a) Perturbation de l'équilibre biomécanique

Il existe un équilibre physiologique entre la résistance du cartilage et du tissu osseux vis-à-vis des sollicitations mécaniques d'une part et la grandeur de la pression articulaire d'autre part.

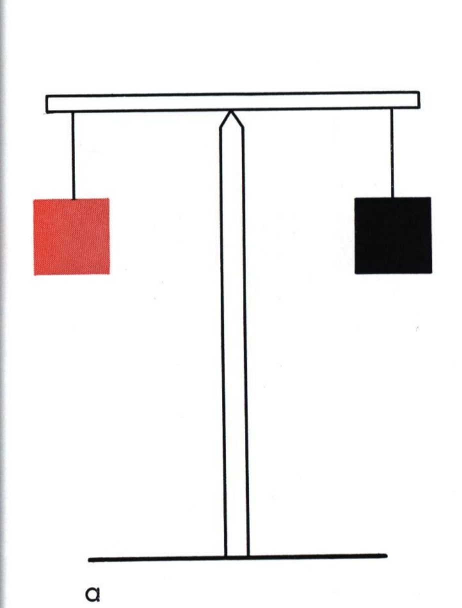
La coxarthrose repose en dernière analyse sur une rupture de cet équilibre: la pression articulaire est trop grande pour la résistance des tissus.

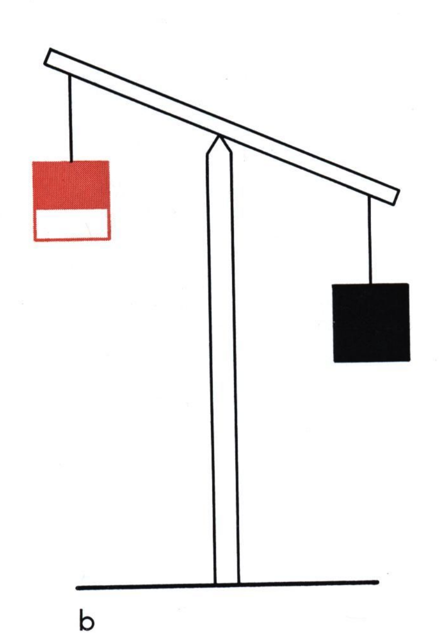
La balance (fig. 156a) illustre l'équilibre physiologique entre la résistance des tissus (poids rouge) et la grandeur de la pression articulaire (poids noir).

Aussi bien la composante biologique que la composante mécanique peuvent provoquer la rupture de cet équilibre biomécanique. D'un côté, à la suite d'une insuffisance congénitale ou acquise, la résistance des tissus peut être tellement diminuée que même une pression articulaire de grandeur normale déclenchera les altérations pathologiques des tissus, caractéristiques de la coxarthrose (fig. 156b). Le stade initial de la coxarthrose primaire, où l'aspect anatomique de la hanche est normal, représente la conséquence typique d'un tel déséquilibre. Par ailleurs, la pression articulaire peut être anormalement élevée et atteindre plusieurs fois sa valeur physiologique quand, à la suite d'une incongruence des surfaces articulaires, elle ne s'exerce que sur une petite partie de celles-ci. C'est ce qui s'observe dans la subluxation primaire ou secondaire de la tête fémorale. Mais dans la plupart des cas de coxarthrose, et de loin, les deux composantes de la rupture d'équilibre interviennent certainement chacune pour une part plus ou moins importante. Elles provoquent l'apparition et la progression inéluctable de la maladie dans laquelle la grandeur de la pression articulaire joue toutefois le rôle décisif (fig. 156c).

Jusqu'à présent, la composante biologique intervenant dans la rupture d'équilibre ne peut être ni évaluée de façon sûre ni influencée efficacement dans un but thérapeutique. Sa gravité peut être plus ou moins prononcée.

Par contre, la composante mécanique de la rupture d'équilibre peut être évaluée de façon très satisfaisante, parce que la biomécanique de la hanche est maintenant bien connue d'une part et parce que d'autre part la forme de la sclérose osseuse sous-chondrale dans le toit du cotyle, visible sur la radiographie de la hanche, donne des indications quant à la distribution quantitative de la pression articulaire (fig. 164a–i).





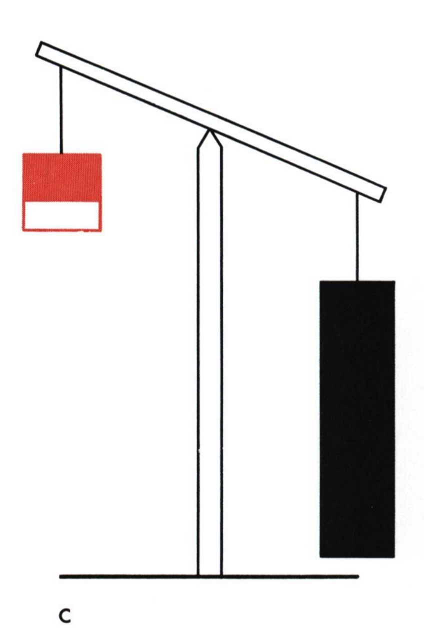


Fig. 156a–c

Mais plus importante encore pour la thérapeutique est la possibilité, grâce à des interventions chirurgicales adéquates, de réduire une pression articulaire même concentrée et très fortement élevée. Le plus souvent on peut ramener celle-ci en dessous de sa grandeur normale. Il faut savoir que la grandeur des contraintes ne dépend pas seulement de la grandeur de la force de compression mais aussi de l'étendue de la surface qui transmet la charge.

Le schéma 157a–c représente comment la grandeur des contraintes dépend de l'étendue de la surface chargée. La charge de 140 kg restant la même, la réduction progressive de la surface portante augmente les contraintes de compression dans des proportions observées lorsque les surfaces portantes articulaires de la hanche sont incongruentes, c-à-d. de 20 à 320 kg/cm².

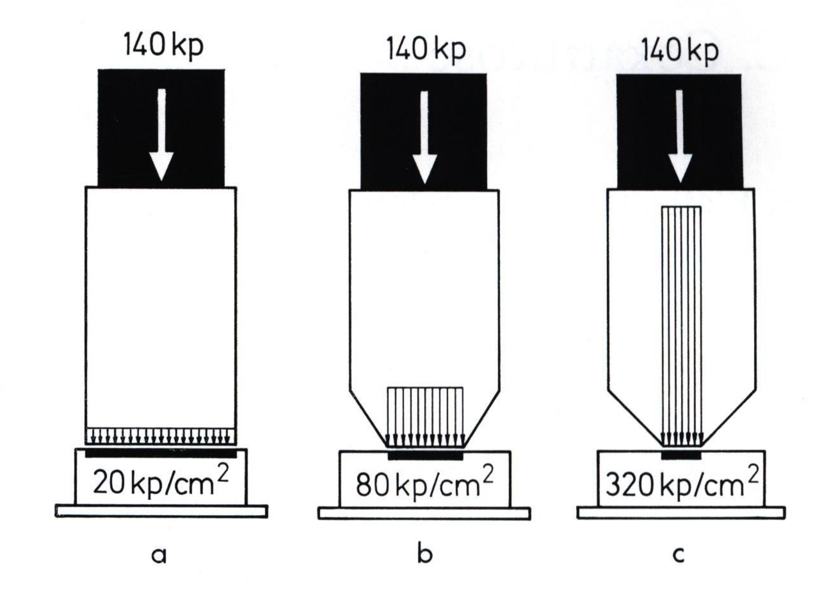


Fig. 157a–c

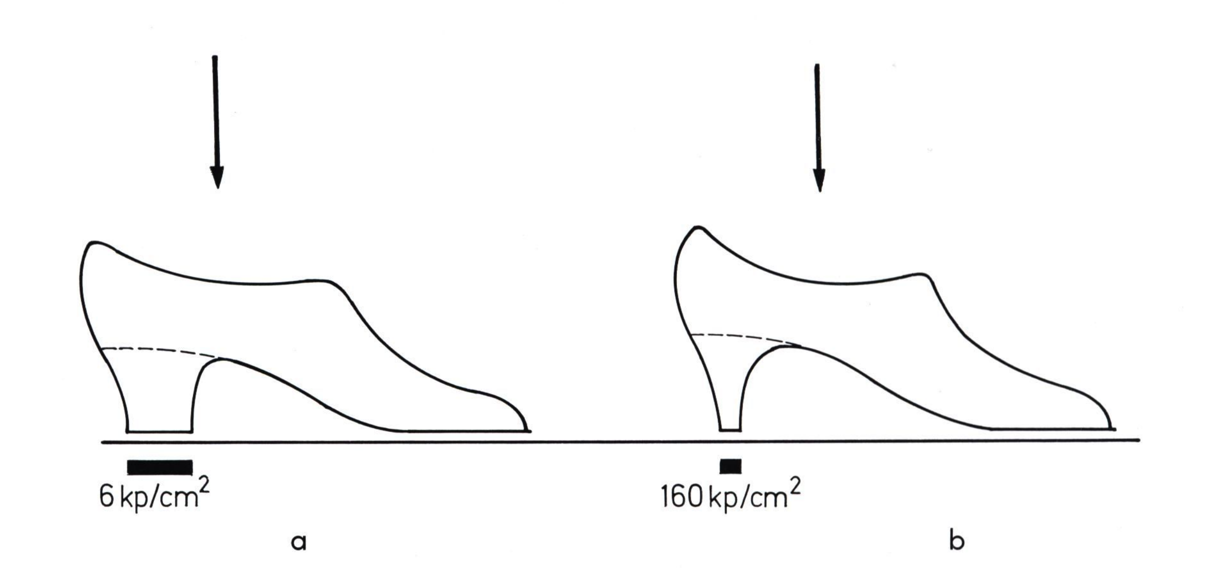
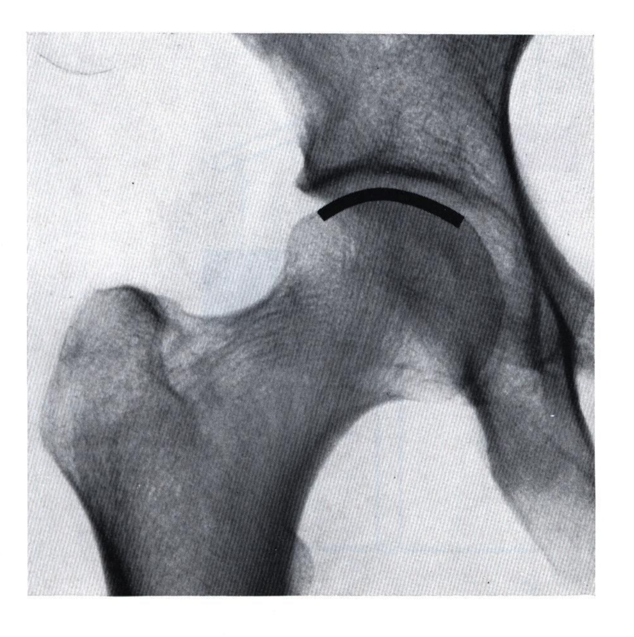


Fig. 158a et b



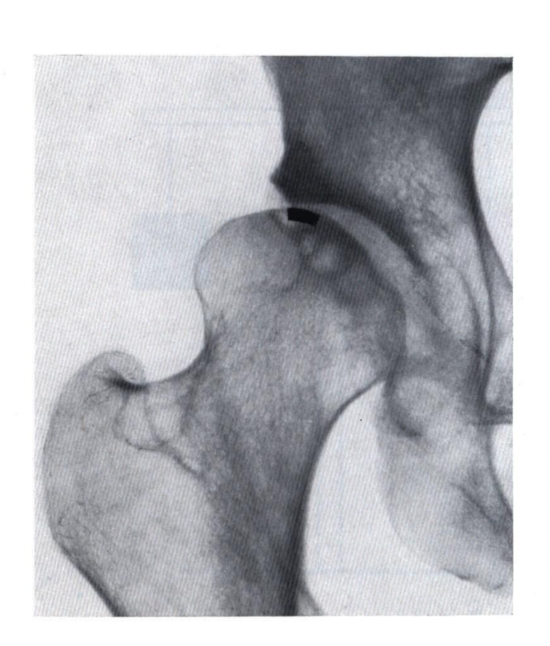


Fig. 159a et b

a

b

L'importance décisive de l'étendue de la surface portante pour la grandeur de la pression articulaire peut être illustrée par l'exemple des talons aiguilles dont l'effet destructeur sur le revêtement du sol est bien connu (fig. 158a et b). Comme l'indique le calcul, si un talon bottier exerce au sol une pression de 6 kg/cm², supportant la même personne un talon aiguille provoque une pression de 160 kg/cm². Transposé à la hanche, cet exemple montre combien, dans la subluxation de la tête fémorale, la surface portante peut être fortement réduite par rapport à son étendue normale et combien la pression articulaire est donc augmentée (fig. 159a et b).

b) Influence du cartilage articulaire sur la grandeur et la distribution de la pression articulaire

C'est la grandeur et la distribution pathologiques de la pression articulaire qui, en dernière analyse, sont responsables de l'apparition et de l'évolution de la coxarthrose. Il faut donc absolument les connaître dans chaque cas particulier pour pouvoir établir un pronostic et proposer une thérapeutique causale.

Puisque le rayon de la partie osseuse de la tête fémorale est plus petit que celui du cotyle osseux, le cartilage articulaire interposé exerce une influence déterminante sur la grandeur et la distribution de la pression dans l'articulation. Si les deux cartilages articulaires manquaient totalement, le cotyle osseux reposerait directement sur le sommet de la tête. La pression ne serait alors transmise que par une zone très exiguë de celle-ci. Par conséquent, elle serait très élevée et concentrée dans le centre du cotyle, comme l'indique le diagramme des contraintes fig. 160a.

S'il n'y avait qu'un seul cartilage articulaire — soit celui du cotyle, soit celui de la tête—, la pression articulaire serait notablement plus petite qu'en l'absence des deux cartilages. En effet, bien qu'irrégulièrement distribuée, elle serait répartie sur presque toute la surface de l'articulation. Elle atteindrait son maximum au centre et diminuerait vers la périphérie. Le diagramme des contraintes serait donc délimité par une ligne convexe (fig. 160b).

C'est l'action combinée du cartilage de la tête et du cartilage du cotyle qui, physiologiquement, répartit la pression articulaire de façon régulière (fig. 160c). Ceci provient principalement de la différence de structure des deux cartilages, que j'ai démontrée au niveau de l'épaule (*Pauwels*, 1959)[35]. Toutefois, pour que la pression articulaire se distribue de façon égale, il faut encore que la force de compression résultante croise la surface portante articulaire en son milieu.

Si, par contre, la force de compression croise excentriquement la surface portante articulaire, comme par exemple dans la subluxation de la tête fémorale où elle est déplacée vers le bord du cotyle (fig. 161), la pression articulaire se distribue inégalement sur la surface portante, malgré la présence de cartilages fonctionnellement normaux. Elle est nulle à la limite interne de la partie portante de la surface articulaire et s'élève pour atteindre une valeur maximale à la limite externe, au rebord du cotyle. Cette distribution quantitative inégale de la pression articulaire entraîne des contraintes maximales beaucoup plus élevées que celles que provoquerait la simple réduction de la partie portante de la surface articulaire.

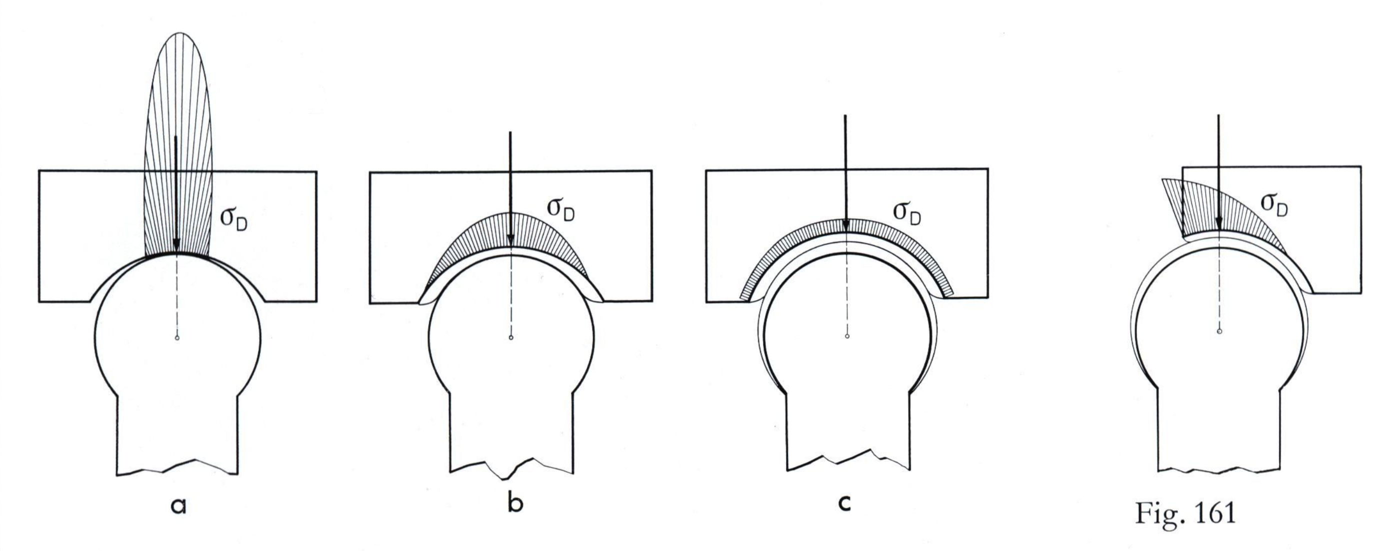


Fig. 160a–c

Fig. 161

35 *Pauwels, F.*: Die Struktur der Tangentialfaserschicht des Gelenkknorpels der Schulterpfanne als Beispiel für ein verkörpertes Spannungsfeld. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **121**, 188–240 (1959) et Ges. Abh., p. 424–479. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965.

Les schémas 162a–d illustrent l'influence d'une subluxation de plus en plus prononcée de la tête fémorale sur la grandeur de la pression articulaire. Lorsque la configuration de l'articulation est normale, sa sollicitation, la pression articulaire, est répartie de façon égale sur la surface portante (fig. 162a). Par contre, dans une subluxation de la tête fémorale de plus en plus prononcée, l'étendue de la surface portante se rétrécit d'autant plus rapidement et, par conséquent, la grandeur de la pression articulaire augmente d'autant plus vite que la force de compression résultante se rapproche du bord du cotyle. Ceci provient du fait que, même lorsque les surfaces articulaires sont parfaitement au contact, la largeur de leur partie portante ne peut jamais dépasser trois fois la distance entre la force de compression résultante et le bord du cotyle (*Pauwels*, 1963)[36].

c) La forme de la condensation osseuse dans le toit du cotyle (sourcil), matérialisation du diagramme des contraintes de compression

Comme nous l'avons mentionné dans la partie théorique (voir page 4), d'après la loi de la transformation osseuse, dans les limites physiologiques, l'apposition de tissu osseux est proportionnelle à la grandeur des contraintes. La démonstration en est fournie par la forme du sourcil cotyloïdien telle qu'elle apparaît en radiographie. La forme du sourcil correspond à celle du diagramme des contraintes de compression aussi bien dans la hanche normale que dans la subluxation de la tête fémorale.

Cette constatation est valable de façon générale et revêt une signification pratique importante, par exemple pour le traitement de la préarthrose et de la coxarthrose. La forme de la condensation osseuse dans le toit du cotyle permet directement de déduire la grandeur et la distribution de la pression articulaire.

Ce fait étant resté très peu connu jusqu'à présent, nous l'illustrerons à nouveau par d'autres exemples.

36 Ceci ressort d'une comparaison entre les diagrammes des contraintes de la fig. 6a–d du travail: Die Druckverteilung im Ellenbogengelenk [Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **123**, 643–667 (1963)]. Voir aussi *Pauwels, F.:* Ges. Abh. zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates, p. 524. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965.

Les radiographies fig. 163a–d montrent différentes hanches où, chaque fois, la tête fémorale se trouve dans le cotyle dans la même situation que la tête dans la cavité du modèle articulé correspondant fig. 162a–d. La condensation souschondrale de la radiographie fig. 163a se répartit de façon égale dans le toit du cotyle comme le diagramme des contraintes dans l'articulation du modèle fig. 162a. Avec l'accentuation de la subluxation de la tête fémorale (fig. 163b et c), la zone dense s'accroît au bord du cotyle, prenant la forme d'un triangle, tout comme le diagramme des contraintes dans l'articulation du modèle théorique sollicité de façon correspondante (fig. 162b et c).

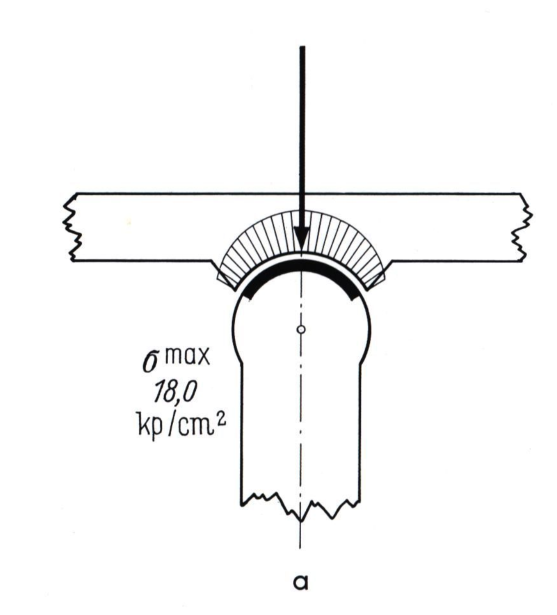


Fig. 162a–d

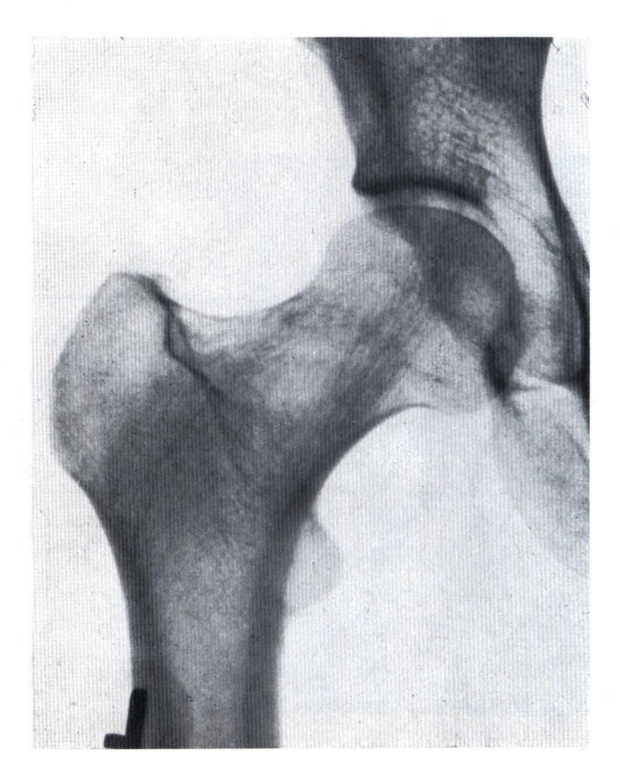
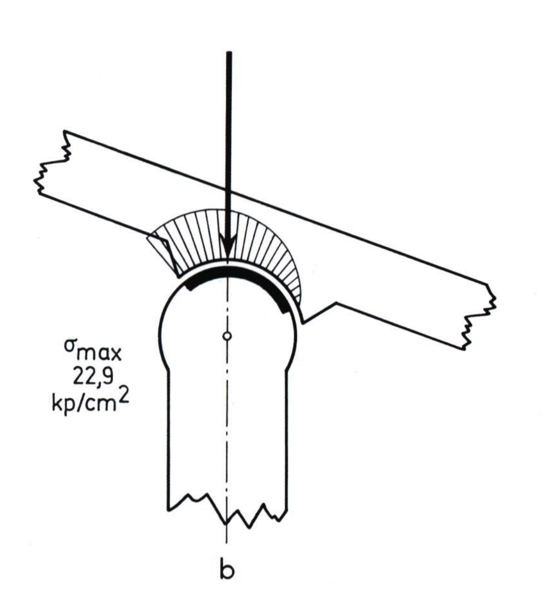
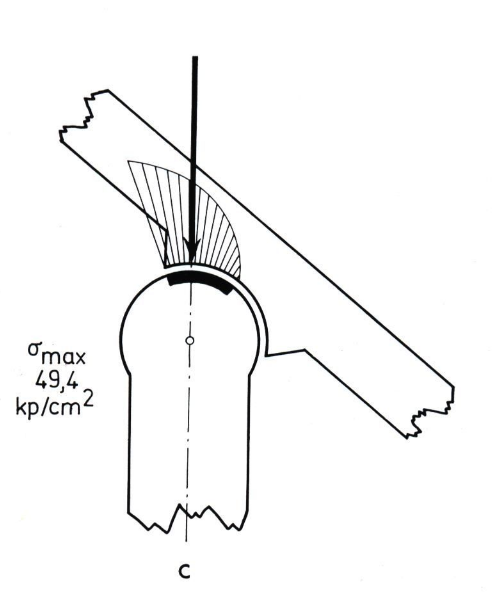
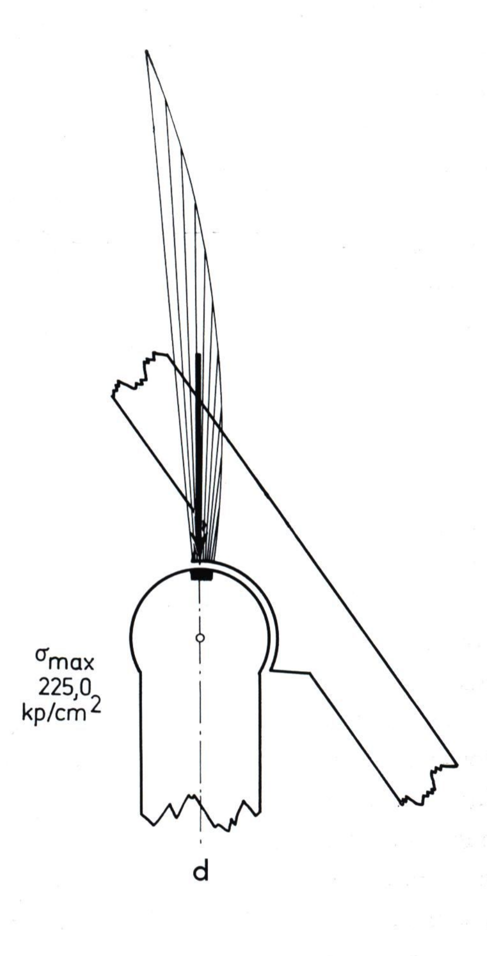


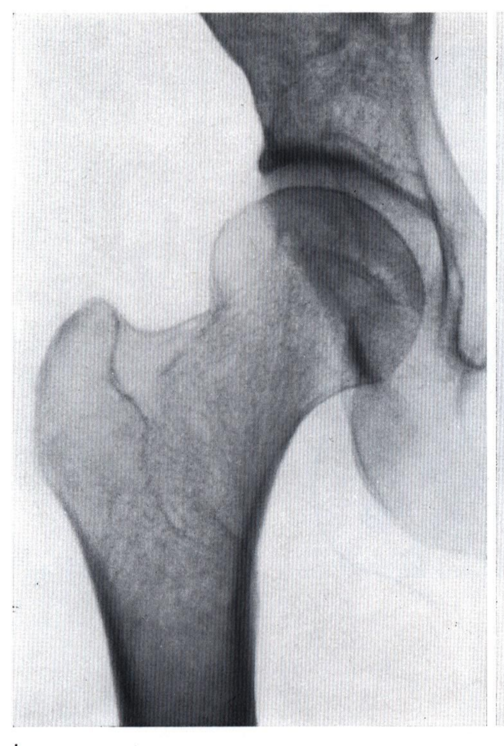
Fig. 163a–d a

Dans une subluxation plus prononcée, la force de compression résultante est repoussée au bord du cotyle (fig. 163d). La condensation osseuse n'épouse plus la forme très pointue du diagramme des contraintes (fig. 162d). Des signes de destruction apparaissent, particulièrement des kystes de résorption dans la tête fémorale (fig. 163d). Ceci montre à l'évidence que la sollicitation extrêmement élevée a dépassé la limite de tolérance de l'os: la résorption a remplacé l'apposition de tissu osseux.

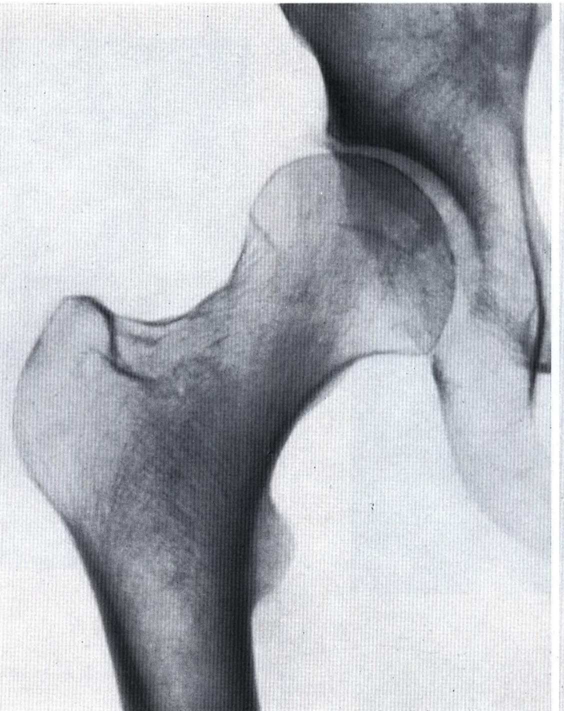




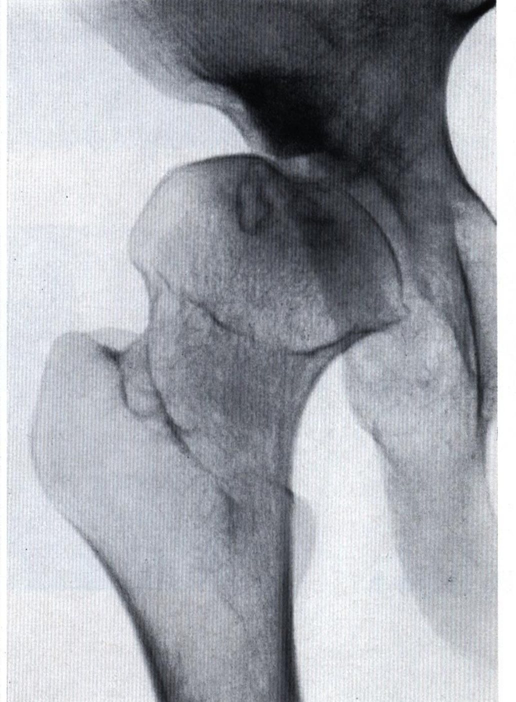




b



c



d

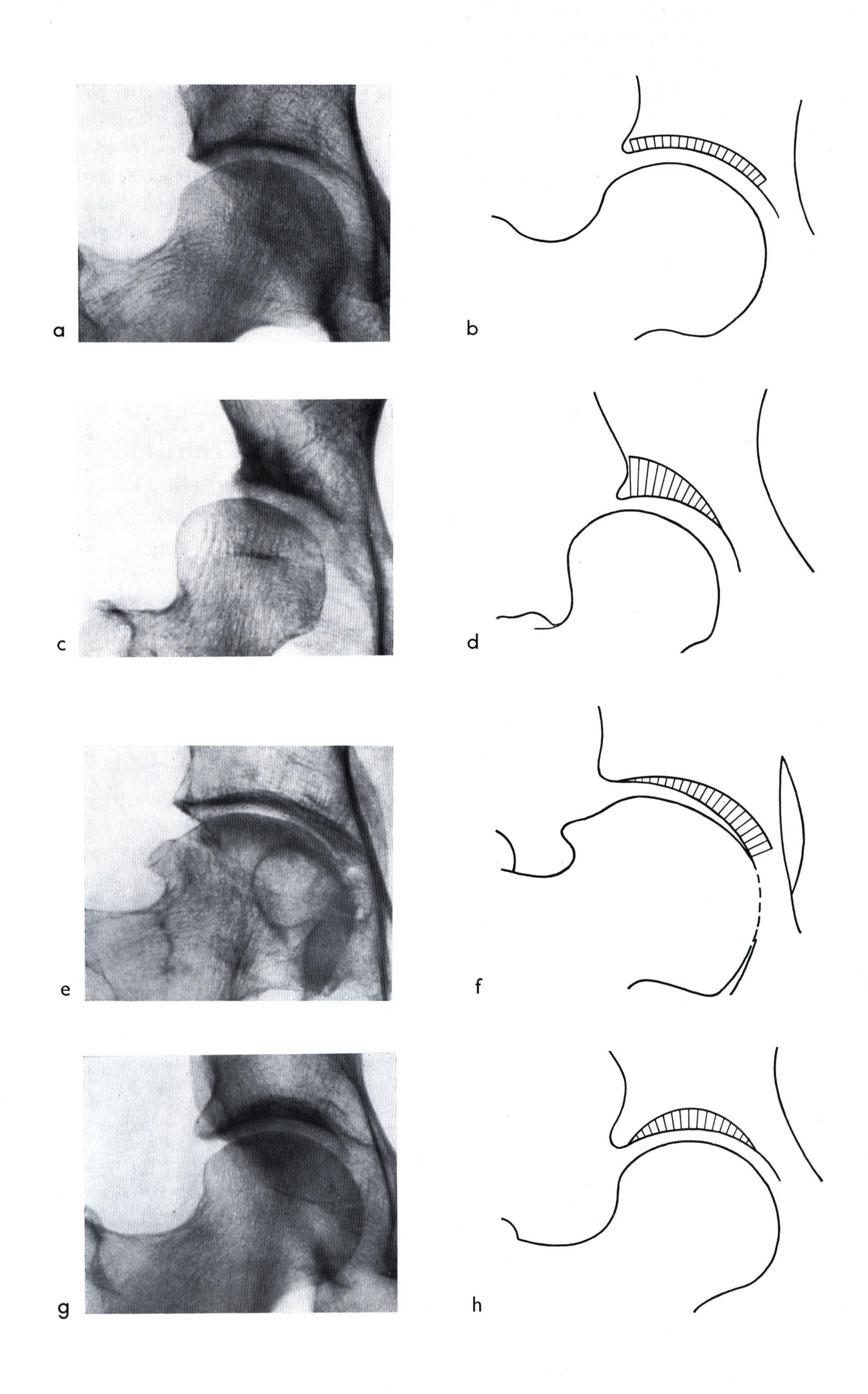


Fig. 164a–h

La moitié droite de la fig. 164a–h représente les diagrammes des contraintes déterminés théoriquement. Ils caractérisent quatre types différents de sollicitation de l'articulation coxo-fémorale. Chacun de ces diagrammes se trouve en regard de la radiographie d'une hanche subissant une sollicitation correspondante. La forme de la zone dense dans le toit du cotyle y apparaît clairement.

Lorsque la hanche est sollicitée physiologiquement (fig. 164a), l'action combinée du cartilage fémoral et du cartilage cotyloïdien répartit la pression articulaire également sur la surface de l'articulation. Par conséquent, le diagramme des contraintes de compression (fig. 164b) présente partout la même épaisseur. La forme du sourcil lui correspond (fig. 164a).

Dans la subluxation de la tête fémorale, la pression articulaire est concentrée au bord du cotyle. Le diagramme des contraintes obtenu théoriquement (fig. 164d) revêt en conséquence la forme d'un triangle plus ou moins aigu au bord du cotyle. Il présente la même forme que le sourcil de la radiographie (fig. 164c).

Dans la protrusion acétabulaire au contraire, c'est dans le fond du cotyle que la pression articulaire s'élève. Le diagramme des contraintes déterminé théoriquement (fig. 164f) revêt la forme d'un coin dont l'épaisseur augmente vers le fond du cotyle. Il correspond de nouveau à la forme du sourcil (fig. 164e).

S'il n'y avait qu'un cartilage articulaire, la pression articulaire calculée théoriquement s'élèverait de la périphérie au centre de la surface articulaire et le diagramme des contraintes serait délimité par une courbe convexe vers le haut (fig. 164h). Si on lui compare la radiographie d'une hanche avec une prothèse de Judet (fig. 164i), où ne reste qu'une couche de cartilage, on constate que la forme du sourcil confirme le diagramme des contraintes théoriquement obtenu.

Si la radiographie d'une hanche normalement bâtie et possédant deux couches de cartilage (fig. 164g) montre un sourcil à limite convexe, revêtant donc la forme typique du diagramme des contraintes lorsque n'existe qu'un cartilage, ceci signifie que les cartilages articulaires ont perdu leur capacité de distribuer de façon égale la pression articulaire. Le sourcil à limite convexe exprime un début d'insuffisance du cartilage articulaire. Le contour convexe du sourcil cotyloïdien constitue le premier signe d'une coxarthrose primaire, signe méconnu jusqu'à présent.

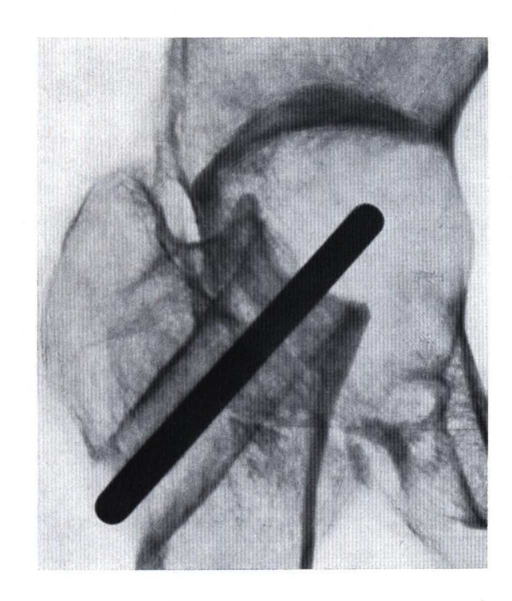


Fig. 164i

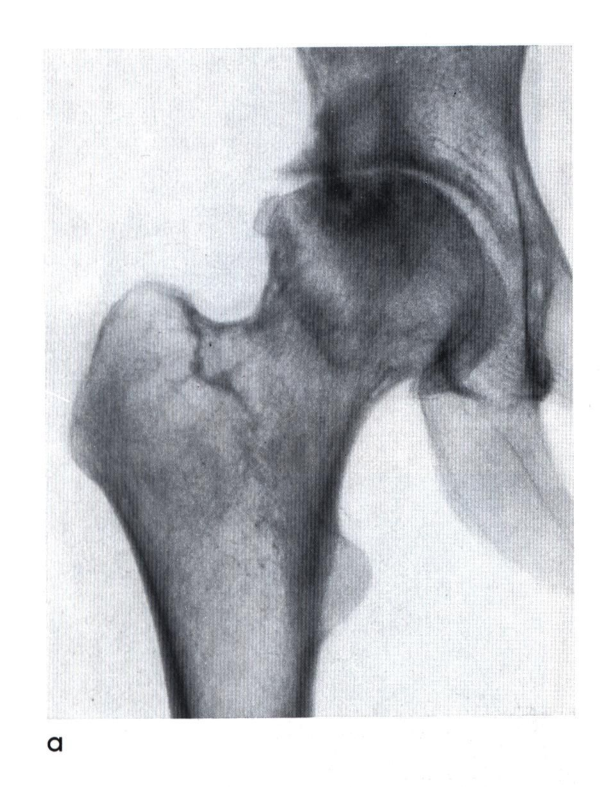
d) Effet sur la hanche d'une pression articulaire relativement trop élevée

Si la pression articulaire dépasse la résistance des tissus, elle entraîne dans l'articulation de la hanche des altérations tissulaires pathologiques caractéristiques. Au cours de l'évolution de la maladie, celles-ci modifient de façon plus ou moins prononcée la forme et la sollicitation de la hanche.

La juxtaposition de deux types d'altérations tissulaires est pathognomonique de la coxarthrose. Tous deux sont provoqués par une grandeur pathologique de la pression articulaire. Les altérations de la zone de surcharge diffèrent fondamentalement de celles de la zone de décharge ou plutôt de moindre charge (*Grasset*, 1960)[37].

Dans la zone de surcharge (hachures verticales dans la fig. 165b), s'observent tous les signes d'une transformation anarchique (fig. 165a). A côté d'une ostéosclérose plus ou moins étendue, qui ne peut être considérée comme adaptation fonctionnelle qu'au début de la maladie (condensation triangulaire dans le toit du cotyle), prédominent ensuite dans la tête et dans le cotyle des changements morphologiques (disparition du cartilage articulaire, zones fibreuses et fibro-cartilagineuses, pseudo-kystes de différentes grandeurs).

Par contre la zone de décharge, ou plutôt de moindre charge (hachures horizontales dans la fig. 165b), se caractérise par des processus productifs, probablement déclenchés par la transformation anarchique dans la zone de surcharge. Ces processus productifs entraînent la formation d'ostéophytes de part et d'autre de la zone de surcharge, et particulièrement du gros ostéophyte initialement cartilagineux, en forme de goutte, apposé à la partie médiale de la tête du fémur et s'étendant très bas sous la fossette du ligament rond. Il s'agit d'un ostéophyte caractéristique de la coxarthrose, désigné sous le nom de «capital drop» dans la littérature anglaise, de «tête coulée» dans la littérature française (*Grasset*, 1960).



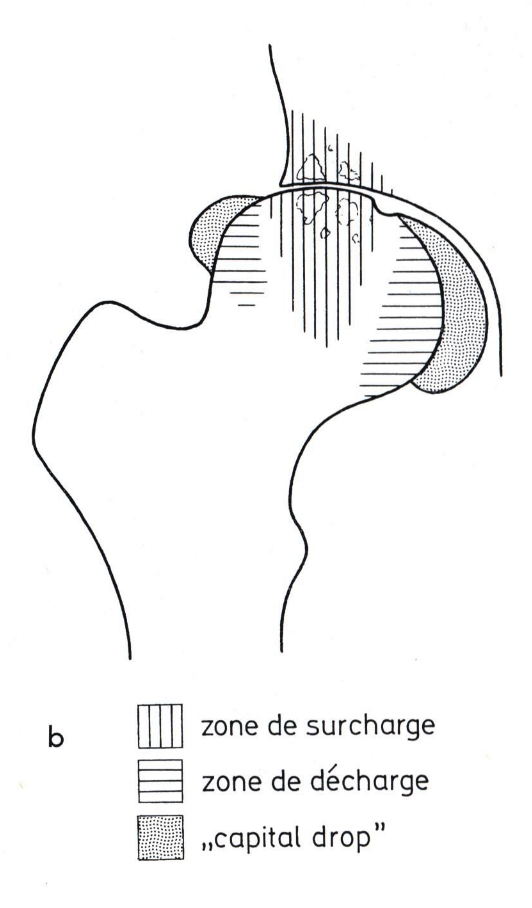


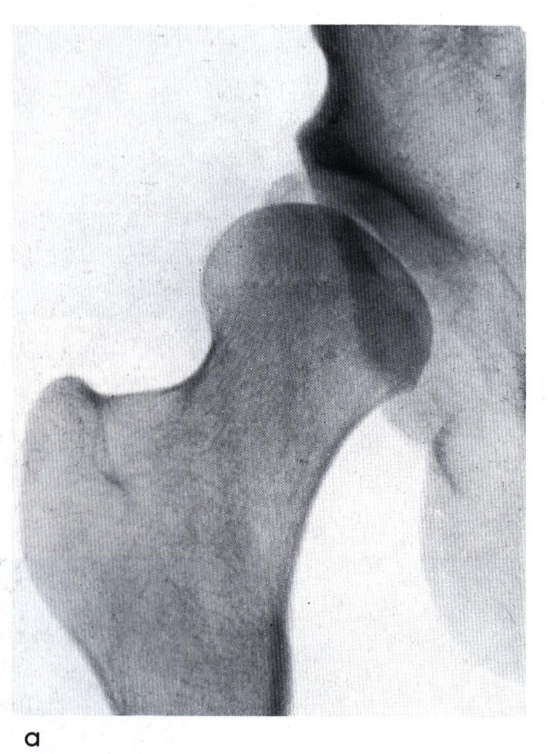
Fig. 165a et b

37 *Grasset, E.J.:* La coxarthrose. Etude anatomique et histologique. Genève: Georg & Cie. et Paris: Masson & Cie. 1960.

Quatre radiographies provenant de patients différents (fig. 166a–d) illustrent de façon caractéristique les stades successifs de l'évolution d'une coxarthrose secondaire à une subluxation modérée de la tête fémorale.

La radiographie fig. 166a montre le signe précoce classique de la coxarthrose secondaire, la condensation triangulaire dans le toit du cotyle. Le cartilage articulaire a conservé toute son épaisseur. L'image suivante représente un stade plus avancé de l'évolution: la hauteur du sourcil a augmenté et l'interligne articulaire s'est nettement pincé au bord du cotyle (fig. 166b). Un stade ultérieur (fig. 166c) se caractérise par le creusement d'un kyste dans la tête fémorale et le développement d'un volumineux ostéophyte apposé à la surface médiale de la tête. Plus tard dans l'évolution de la maladie (fig. 166d), la dégénérescence kystique de la tête fémorale s'est aggravée et de grands kystes sont apparus aussi dans le toit du cotyle.

Les altérations tissulaires dégénératives et productives, provoquées par la pression articulaire anormalement élevée, peuvent dans de nombreux cas se maintenir durant des années dans des limites tellement étroites que, même après disparition du cartilage articulaire et creusement des contours de l'articulation, la congruence des surfaces articulaires est pratiquement conservée. Dans ces cas, la pression articulaire n'est donc pas additionnellement accrue par l'incongruence des surfaces articulaires.


a

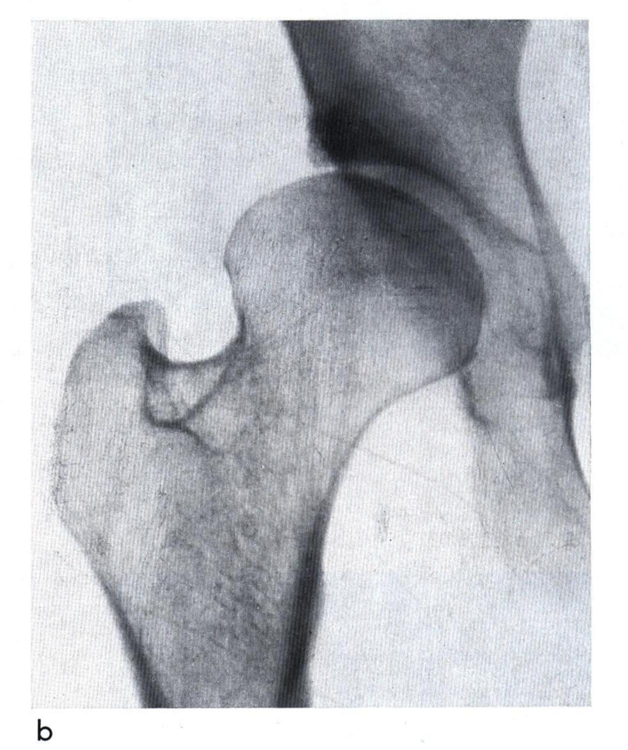
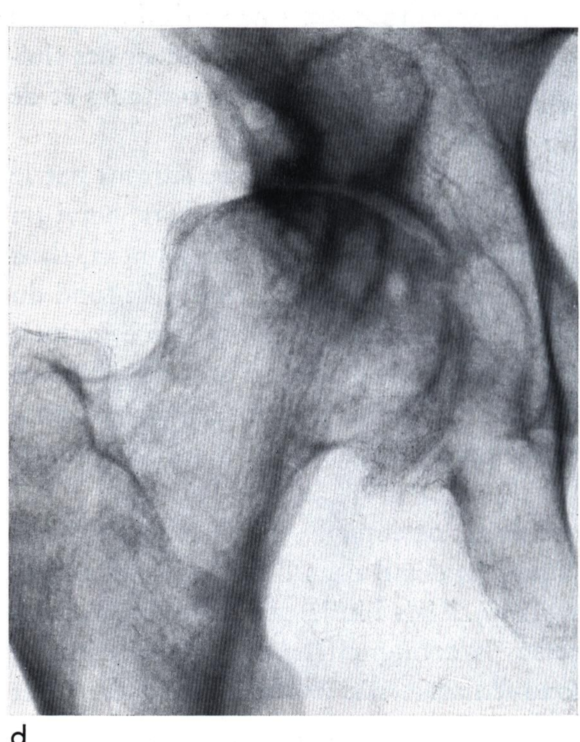
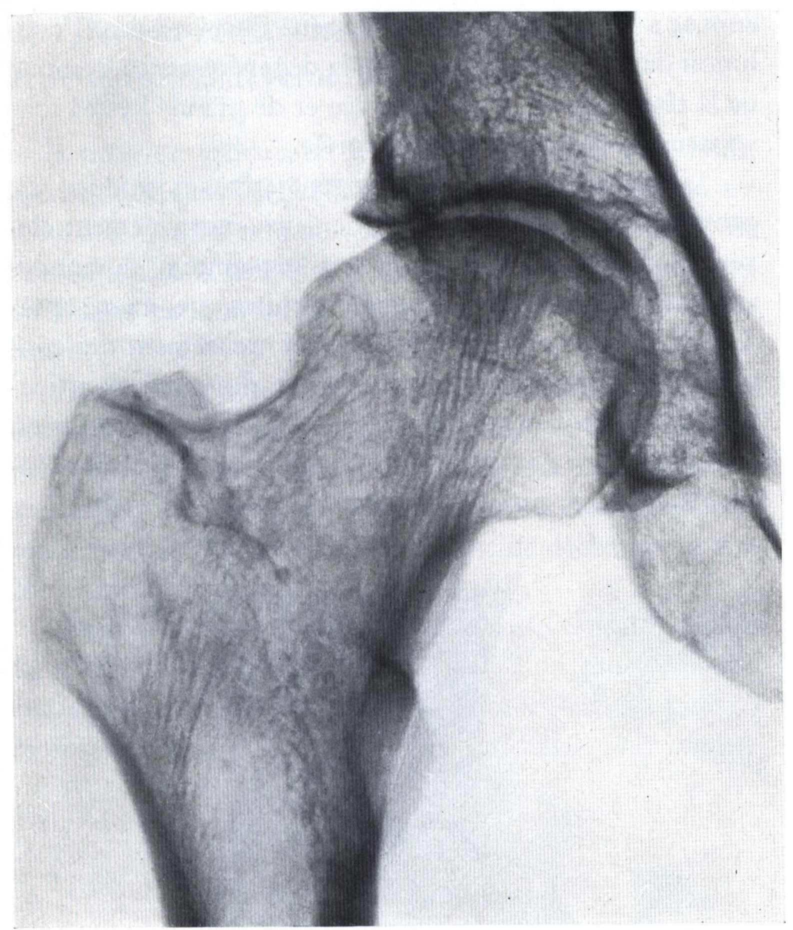

b

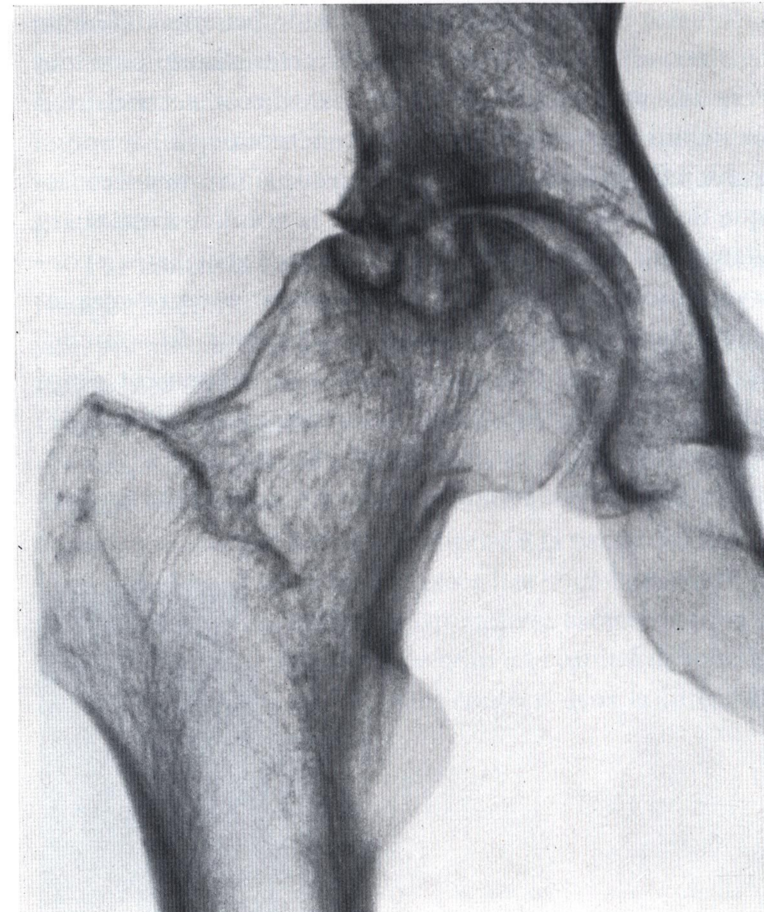
Fig. 166a–d


c


d

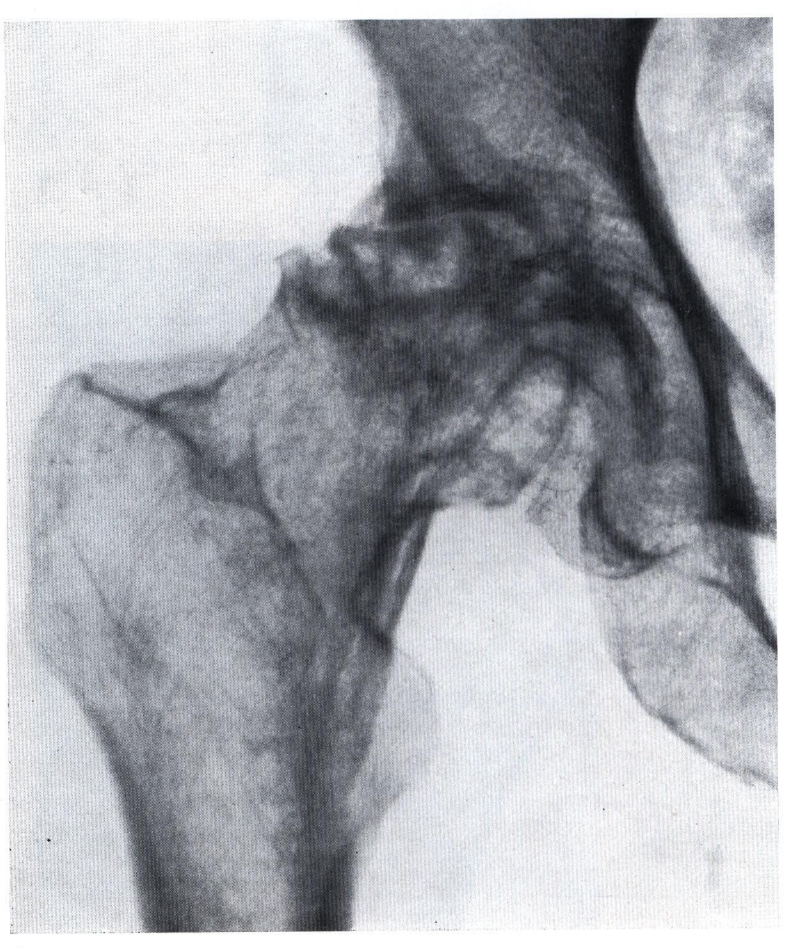


a



b

Fig. 167a–c

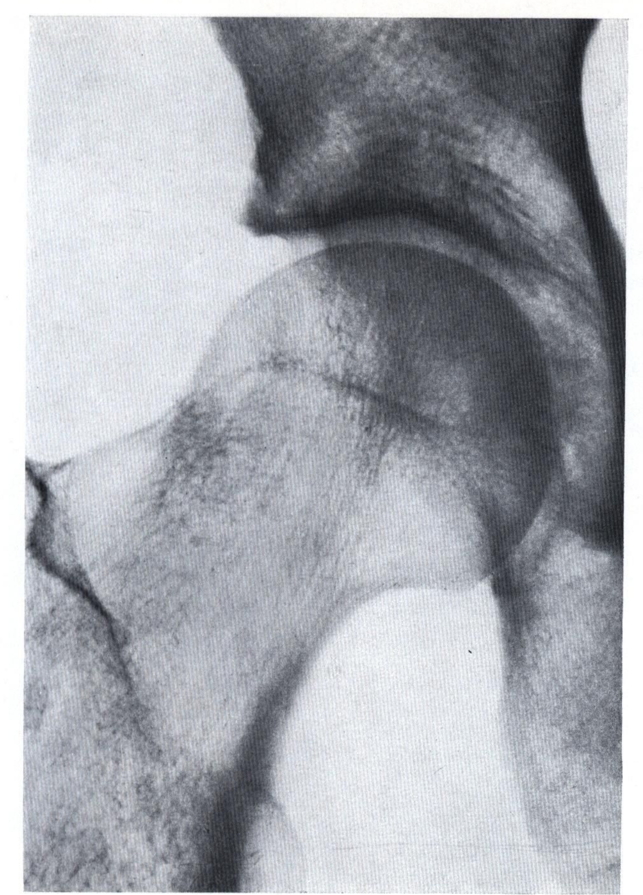


c

Par ailleurs, chacune des deux causes de la rupture d'équilibre peut se combiner à l'autre et entraîner des altérations pathologiques très prononcées des contours et de la sollicitation, typiques de la maladie.

Le processus dégénératif se caractérise surtout par le creusement de kystes plus ou moins nombreux, suivi ou non d'un écrasement de la zone d'hyperpression et, dans le cas de la fig. 167a–c, par un dédoublement du fond du cotyle. Les processus constructifs par contre sont constitués en premier lieu par le développement d'un ostéophyte en goutte plus ou moins volumineux apposé à la tête fémorale. Cet ostéophyte modifie la forme et la sollicitation de l'articulation.

L'histogenèse de cet ostéophyte, initialement cartilagineux, a été expliquée en détail dans l'excellente monographie de *Grasset* (1960). Mais l'influence qu'exerce l'ostéophyte en goutte sur la configuration et la sollicitation de l'articulation coxo-fémorale n'a pas été expliquée. C'est pourquoi nous nous y arrêterons.





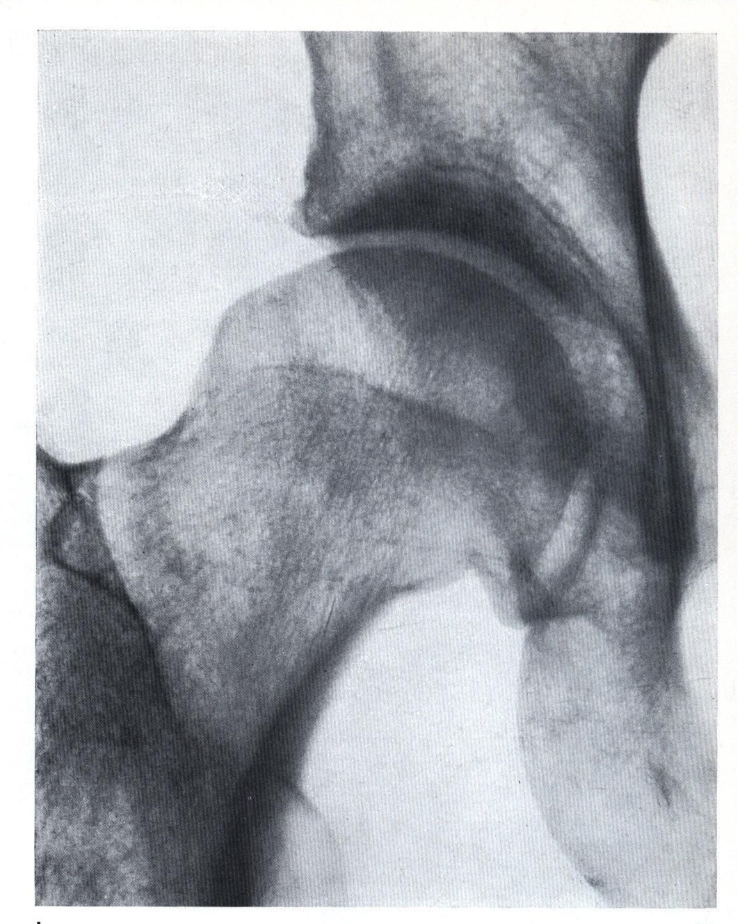
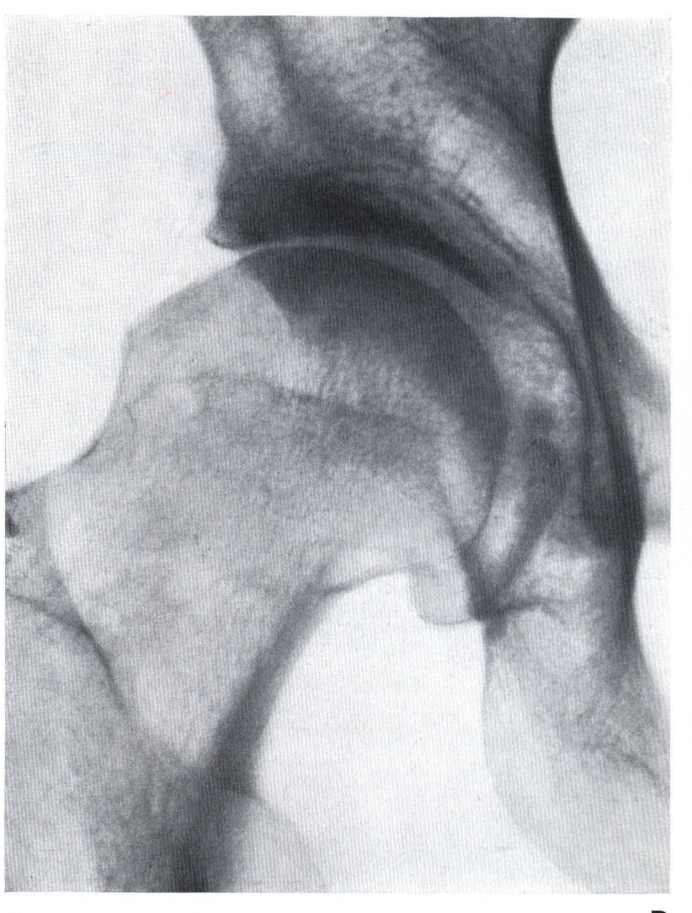


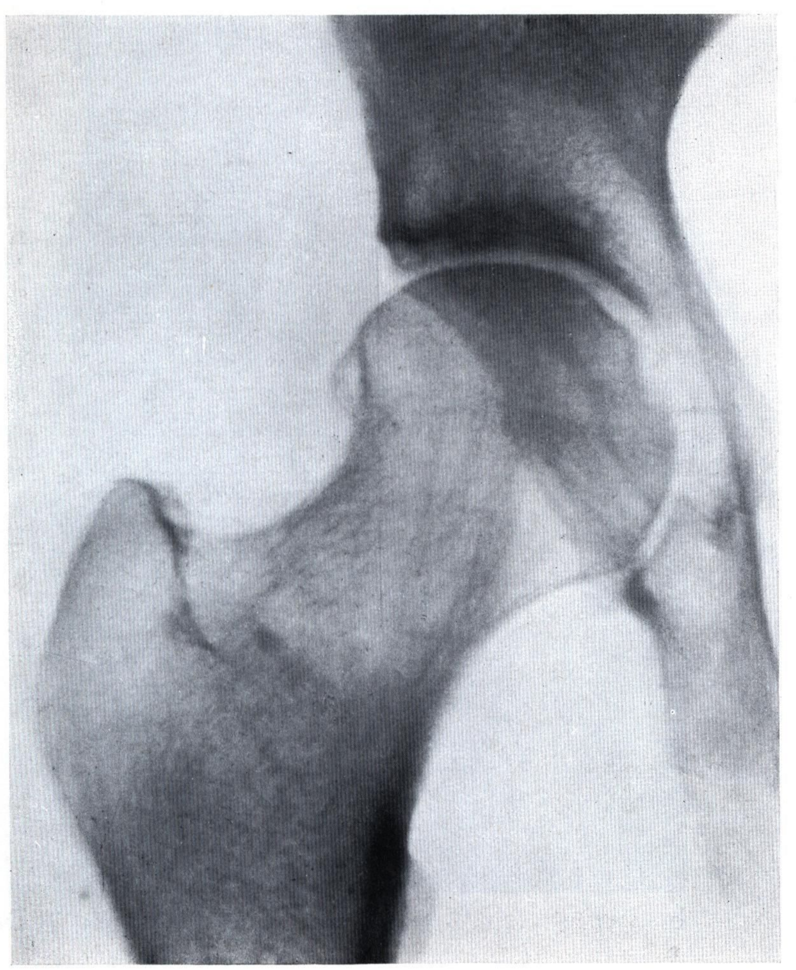
Fig. 168a–c a G b D

L'ostéophyte en goutte, par sa présence et son augmentation de volume, refoule peu à peu la tête fémorale en dehors du cotyle et provoque ainsi la subluxation secondaire. Les radiographies fig. 168a–c le démontrent. Il s'agit d'un patient de 45 ans souffrant d'un début de coxarthrose droite. La radiographie de la hanche gauche, saine (fig. 168a), montre un sourcil normal à contours parallèles. Par contre, celui de la hanche droite, douloureuse, est convexe en cupule (fig. 168b). Sa plus grande épaisseur se trouve au milieu du toit du cotyle. Ceci montre, d'abord, que le cartilage articulaire est insuffisant et, ensuite, que la tête fémorale se trouve à sa place normale dans l'acetabulum (fig. 164g et h).

Deux ans plus tard (fig. 168c), le sourcil revêt une forme triangulaire, plus épais au bord du cotyle où l'interligne s'est nettement pincé. Cela ne peut être dû qu'au refoulement latéral de la tête fémorale survenu entretemps et provoqué par le développement d'un ostéophyte en goutte s'appuyant dans le fond du cotyle.



c D


a

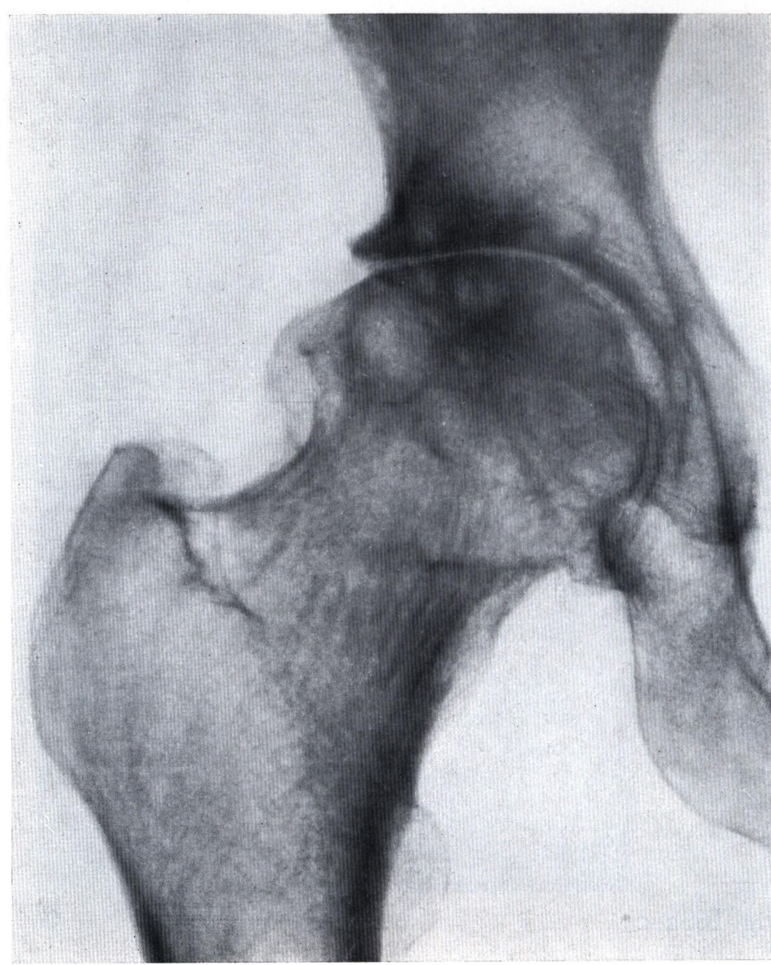

b

Fig. 169a et b

La radiographie fig. 169a d'une patiente de 70 ans montre elle aussi le stade initial d'une coxarthrose primaire avec le sourcil de forme convexe.

Neuf ans plus tard (fig. 169b), l'image montre un stade beaucoup plus avancé que celui de la radiographie fig. 168c. Le sourcil a pris la forme d'un triangle aux limites bien nettes. L'interligne s'est fortement aminci à la suite de la dégénérescence du cartilage articulaire. Dans la région où se concentre la pression, des kystes se sont creusés dans la tête et dans le cotyle. Le dépôt de tissu osseux dans l'ostéophyte en goutte, initialement cartilagineux, apparaît clairement.

Les radiographies fig. 170a–c illustrent l'évolution d'une coxarthrose secondaire à une luxation réduite. En 13 ans un gros ostéophyte en goutte (coxa magna) s'est développé. Le développement de l'ostéophyte en goutte et l'adaptation de la forme du cotyle ont presque doublé le rayon de courbure de l'articulation (fig. 171a et b).

a b c

Fig. 170a–c

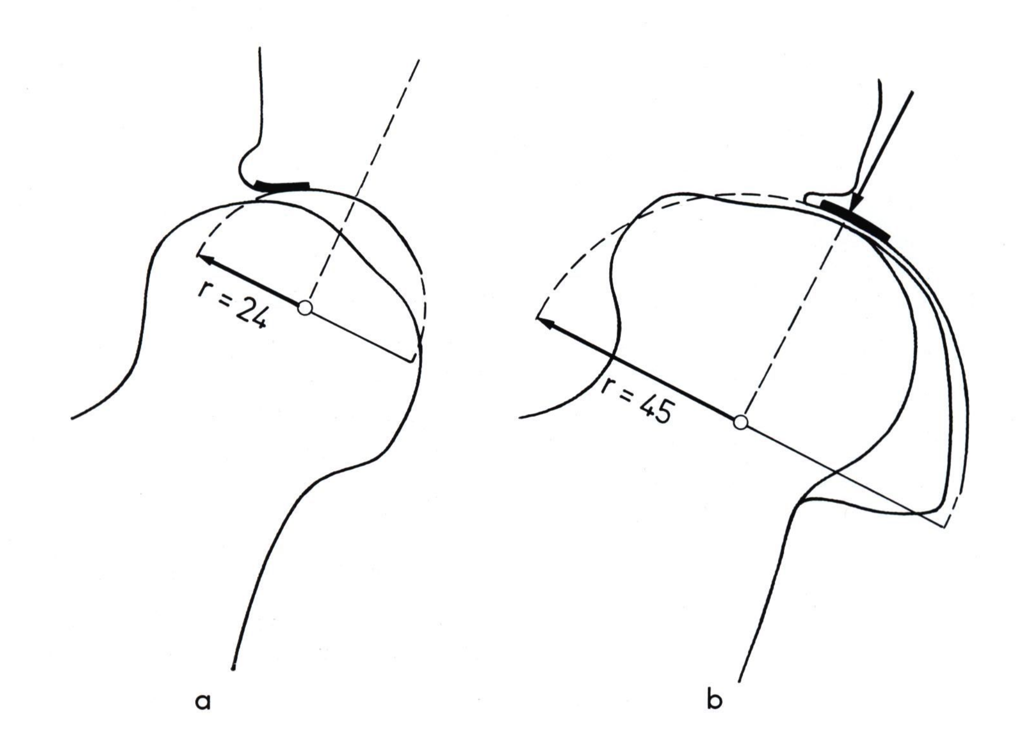
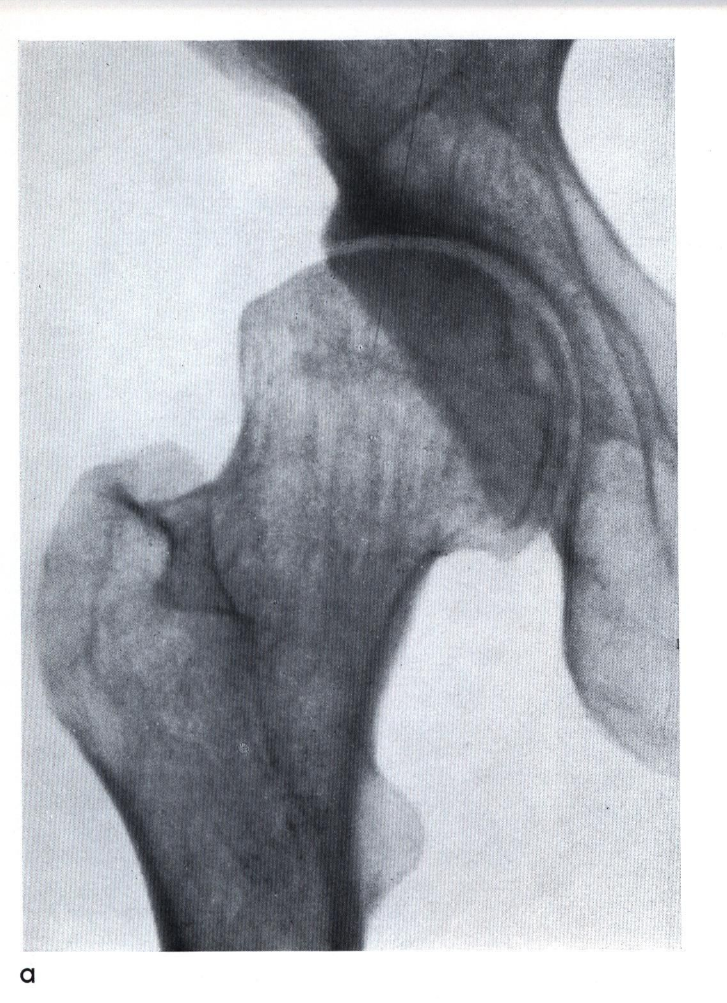


Fig. 171a et b a b



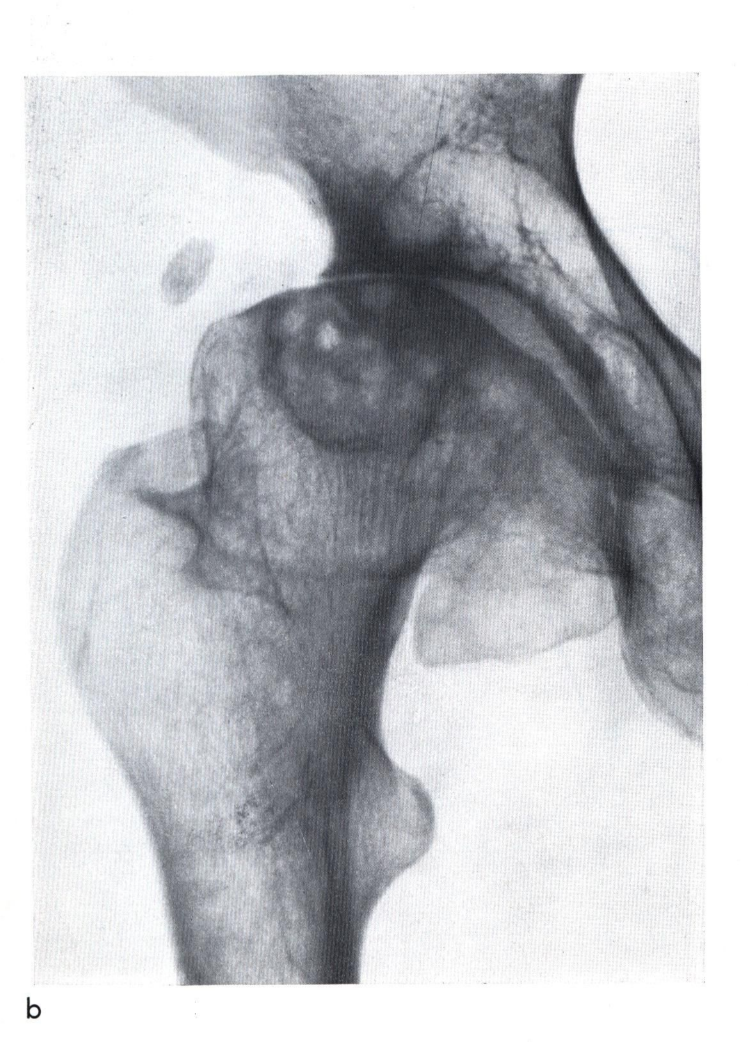
a

a

18.5.1951

Fig. 173a–e

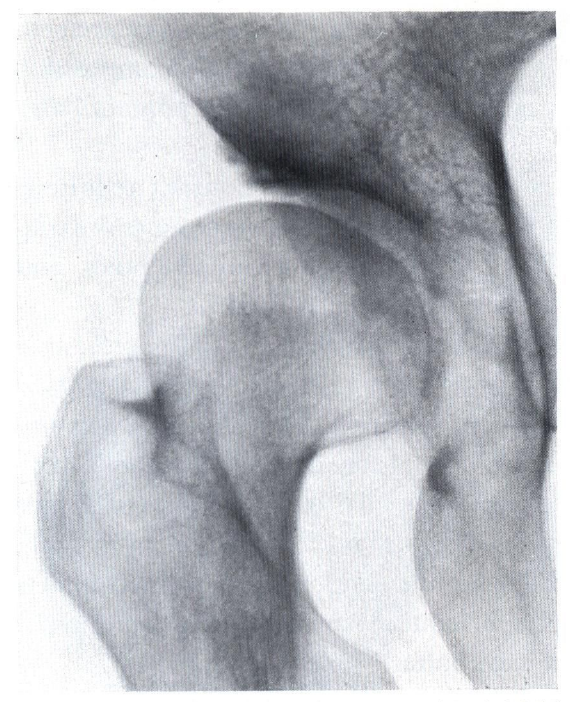
Fig. 172a et b



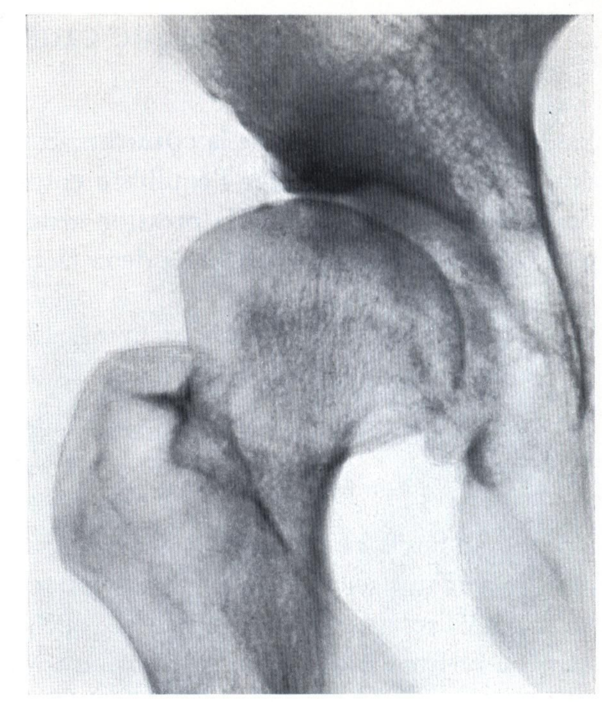
b

Le plus gros ostéophyte en goutte que j'aie observé (fig. 172a et b) accompagnait une zone à peu près circulaire ponctuée de kystes, située dans la région où était concentrée la pression. Il s'était développé en 11 ans chez une patiente de 45 ans.

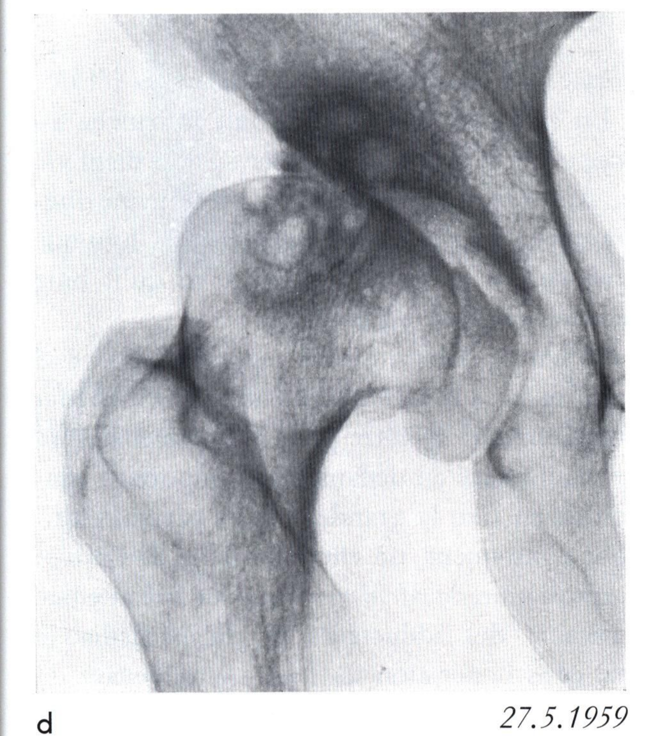
Les radiographies fig. 173a–c proviennent d'une patiente présentant une coxarthrose secondaire à une subluxation congénitale de la tête du fémur. Outre la formation d'un gros ostéophyte en goutte, des altérations kystiques très prononcées se sont produites dans la zone où la pression est concentrée, avec effondrement secondaire (fig. 173d et e). Durant les 5 premières années de l'évolution de la maladie (fig. 173a–c) on constata l'accroissement d'une condensation triangulaire dans le toit du cotyle, un pincement de plus en plus prononcé de l'interligne et le début d'un ostéophyte en goutte. Durant les 6 années suivantes, la dégénéréscence kystique progressa dans la tête fémorale et dans le cotyle, suivie d'écrasement. L'ostéophyte en goutte augmenta considérablement de volume et les contours de l'acetabulum s'y adaptèrent. Ceci doubla



b 10.6.1955



c 18.6.1956



d 27.5.1959



e 15.10.1962

presque le rayon de courbure de l'articulation mais diminua encore sa surface portante et augmenta ainsi progressivement la pression articulaire, car la force résultante de compression était refoulée vers le bord du cotyle par l'augmentation de volume de la tête fémorale (fig. 174a et b).

Un autre exemple de la formation de l'ostéophyte en goutte et de son effet sur la sollicitation mécanique de l'articulation de la hanche est fourni par la description de l'évolution préopératoire d'une coxarthrose et de la régénération de l'articulation après une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) (fig. 240–250, pages 202–211).

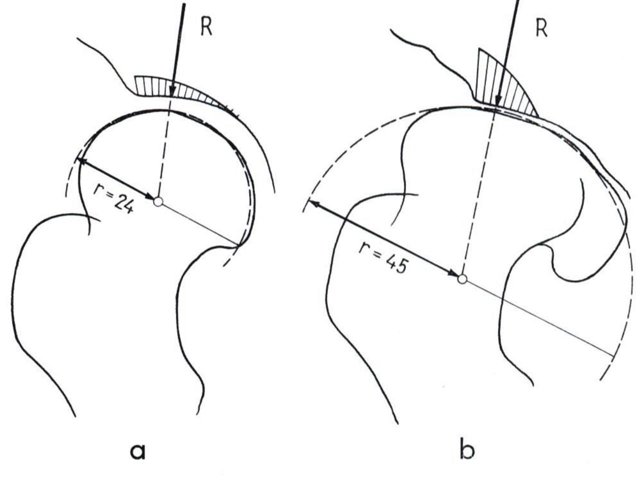


Fig. 174a et b

2. But d'une thérapeutique causale

Basée sur la pathogenèse de la coxarthrose, une thérapeutique causale doit restaurer l'équilibre entre la résistance des tissus et la grandeur de la pression articulaire. Ce but peut théoriquement s'atteindre de deux façons:

1. en améliorant la résistance des tissus, c-à-d. la composante biologique du déséquilibre,
2. en diminuant la pression articulaire, sa composante mécanique.

La composante biologique de la perturbation de l'équilibre, la diminution plus ou moins prononcée de la résistance tissulaire, ne peut être influencée que peu ou pas du tout. La résistance des tissus ne peut en tout cas pas être renforcée au delà de son niveau physiologique. Par conséquent, elle ne peut en aucun cas s'adapter à une pression articulaire pathologiquement augmentée.

Par contre, la composante mécanique de la perturbation de l'équilibre, la pression articulaire anormalement élevée, peut être modifiée très fortement et de façon déterminante. Il est en effet possible de diminuer chirurgicalement une pression articulaire pathologique très augmentée — souvent on peut même la ramener en dessous de sa valeur normale — et ainsi de l'adapter à l'insuffisance des tissus.

Puisque la grandeur de la pression articulaire dépend de deux facteurs, en principe il y a aussi deux possibilités de la diminuer:

1. en réduisant la charge, c-à-d. la force de compression qui agit sur l'articulation.
2. en accroissant la partie de la surface articulaire qui transmet la force de compression.

3. Réduction de la pression dans une articulation congruente, par diminution de la charge *(Voss, McMurray)*

Des interventions chirurgicales ayant pour but d'appliquer le premier principe, la diminution de la charge ou force de compression exercée sur l'articulation, ne peuvent entraîner un bon résultat durable que si les surfaces articulaires sont congruentes.

Dans ces conditions, la pression articulaire n'est pas augmentée par réduction pathologique de la surface portante. Sont à ranger parmi ces interventions chirurgicales:

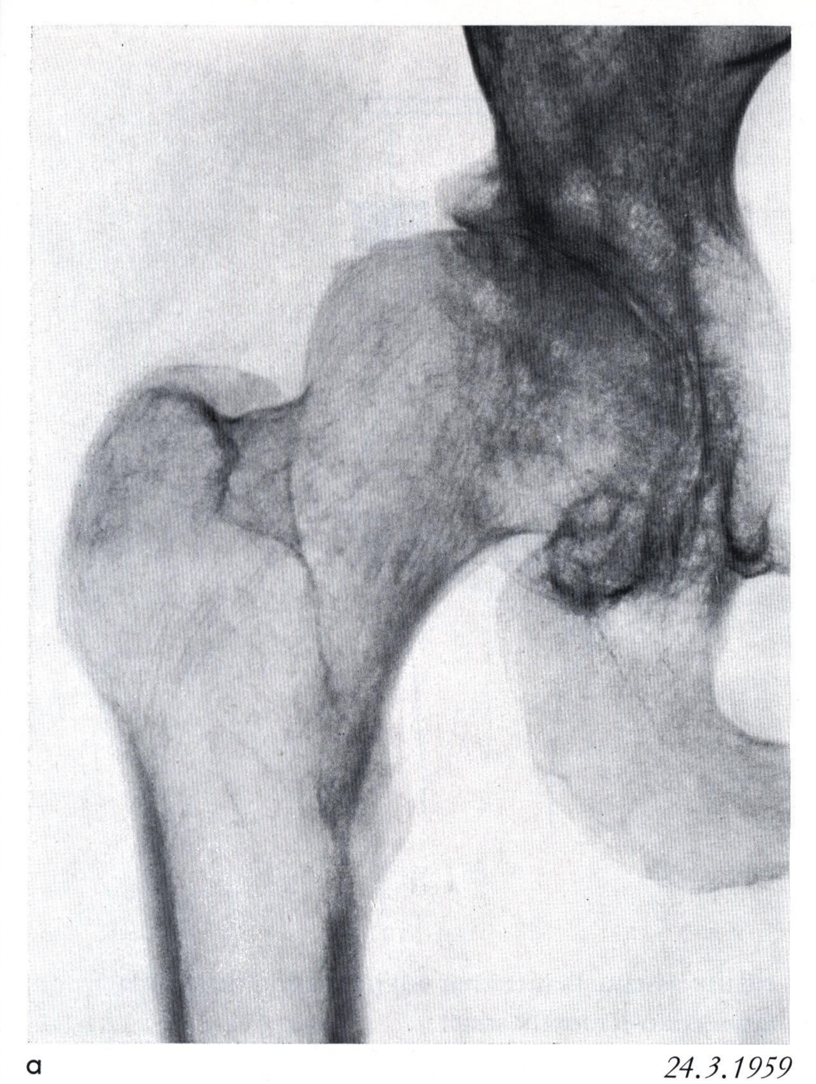
1. l'opération de *Voss* ou de la hanche temporairement pendante. La diminution de la force de compression s'obtient par la détente des muscles qui pontent l'articulation.
   Au mieux, la détente musculaire pourrait réduire la pression articulaire de moitié. Les diagrammes des contraintes de la fig. 176 et la réduction du poids noir exercé sur la balance fig. 177 l'indiquent.
   Les radiographies d'une patiente que j'ai opérée, âgée de 55 ans, avant et 13 ans après l'intervention (fig. 175a et b) fournissent un exemple d'excellent résultat durable obtenu par l'opération de *Voss* lorsque la congruence des surfaces articulaires est conservée. Depuis l'intervention les douleurs ont complètement disparu. La hanche a des mouvements pratiquement complets et une fonction presque normale. La patiente marche sans canne et sans boîter.
   Si les surfaces articulaires sont incongruentes, l'opération de *Voss* est contre-indiquée comme le démontrent les cas fig. 289 et 295.
2. L'ostéotomie de translation de *McMurray* (1935, 1939)[38]. En principe, elle déchargerait la hanche en faisant supporter le bassin directement par la diaphyse fémorale. Après ostéotomie intertrochantérienne oblique, le fragment diaphysaire est poussé aussi loin que possible en dedans et en haut jusqu'à ce qu'il bute contre le bord inférieur du cotyle[39].
   Comme on peut le démontrer, ce support direct ne se réalise pratiquement jamais ou seulement de façon tout à fait exceptionnelle. D'autre part, le déplacement du fragment diaphysaire en dedans, aussi important soit-il, ne modifie en rien la grandeur de la pression articulaire. Par conséquent, un effet favorable de l'ostéotomie de translation de *McMurray* ne peut être attribué qu'à la détente des adducteurs et du psoasiliaque — comme dans l'opération de *Voss* — provenant du déplacement proximal du fragment diaphysaire ou à une rotation imprévue et par hasard correcte de la tête fémorale dans son cotyle, rendant congruentes les surfaces articulaires[40]. Mais *McMurray* ne voulait pas une telle rotation, qui ne peut donc être portée au compte de sa méthode[41].

38 *McMurray, T.P.:* Brit. J. Surg. **22**, 716 (1935). — J. Bone Jt Surg. **21**, 1 (1939).

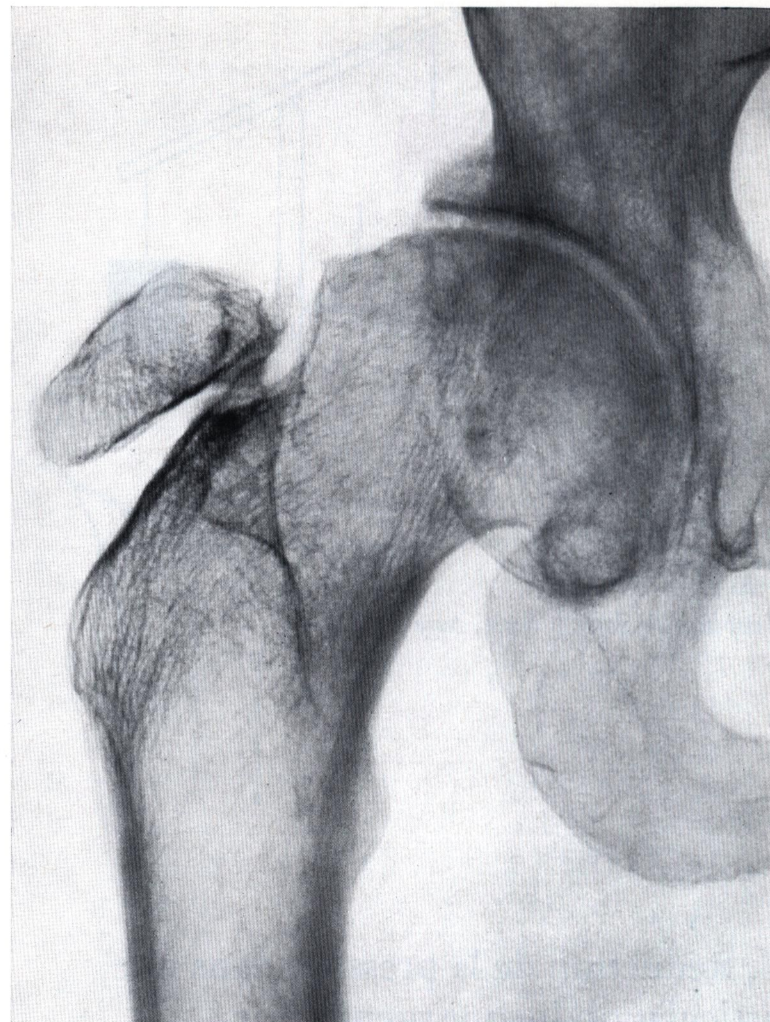
39 D'après *E. Morscher* (Die intertrochantere Osteotomie bei Coxarthrose, p. 9. Bern: Huber 1971) *MacFarland* disait: « J'ai été 20 ans assistant chez *McMurray*. Chaque année celui-ci avait une nouvelle explication de l'action de son ostéotomie. Depuis sa mort, je n'ai plus d'explication mais l'ostéotomie continue à donner des résultats. »

40 *Pauwels, F.:* Der Platz der Osteotomie in der chirurgischen Behandlung der Coxarthrose. Triangel **6**, 196–210 (1968).

41 *Doliveux, P.:* Rev. Chir orthop. **52**, 561 (1966).

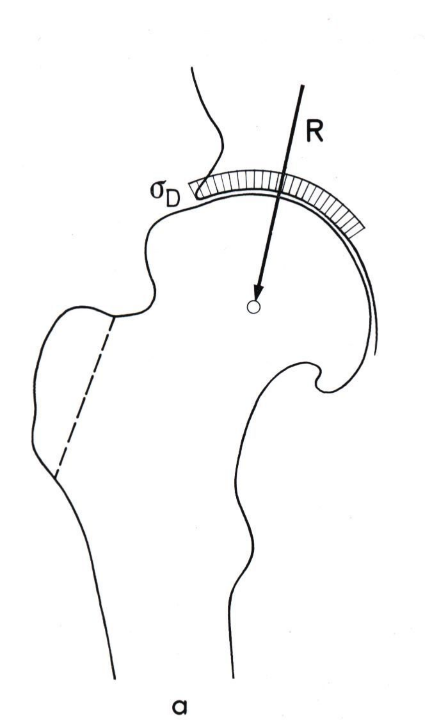


a *24.3.1959*

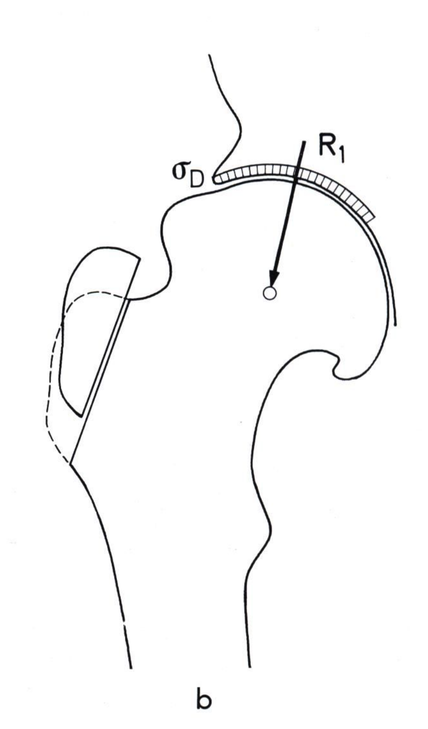


b *10.6.1972 (13 ans 1 mois après l'opération)*

Fig. 175a et b
M.H., ♀, née le 8.4.1904,
Opération le 15.5.1959 (à l'âge de 55 ans et 1 mois)

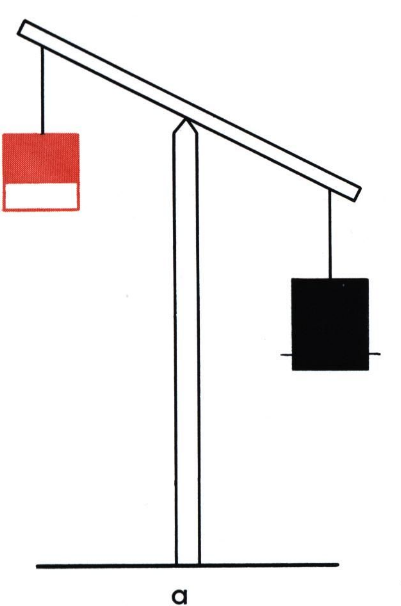


a



b

Fig. 176a et b



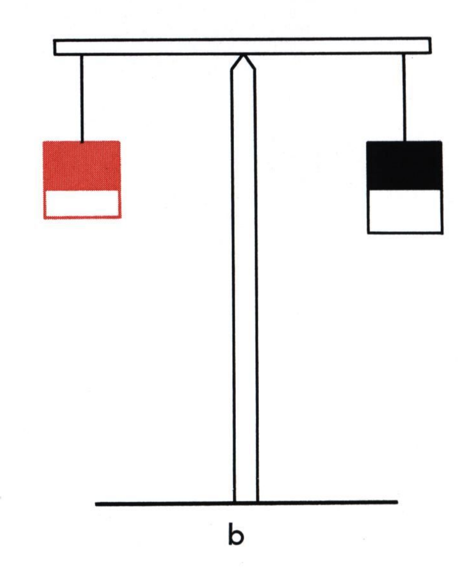


Fig. 177a et b
(explication dans le texte, page 144)

4. Réduction de la pression dans une articulation incongruente, par agrandissement de la surface portante

a) Ostéotomie varisante d'adduction (PI) et ostéotomie valgisante d'abduction (PII)

Le deuxième moyen de réduire la pression articulaire consiste à augmenter la surface portante de l'articulation. Lorsque les surfaces articulaires sont incongruentes, il constitue la seule possibilité de rétablir l'équilibre biomécanique.

Comme l'indique le schéma fig. 38a, dans une articulation, une surface de contact fortement réduite peut être considérablement agrandie par rotation adéquate des surfaces articulaires l'une par rapport à l'autre. De même à la hanche, une surface portante réduite par incongruence peut être fortement accrue par rotation de la tête fémorale dans son cotyle, soit en dedans (fig. 178), soit en dehors, (fig. 179) selon la configuration de l'articulation.

L'agrandissement de la surface portante de la hanche permet de réduire la pression articulaire de façon bien plus importante que ne le peut la réduction de la force de compression exercée sur l'articulation, par la détente des muscles pontant celle-ci (*Voss*).

Les opérations qui, en cas d'incongruence des surfaces de l'articulation, réduisent très fortement la pression articulaire essentiellement par augmentation de la surface portante coxo-fémorale sont:

1. *l'ostéotomie varisante d'adduction* (Pauwels I; fig. 180) et
2. *l'ostéotomie valgisante d'abduction* (Pauwels II; fig. 182).

J'ai publié ces deux *interventions conservatrices* respectivement en 1950[42] et en 1960[43] comme thérapeutique causale de la coxarthrose. Lorsque leur indication est correcte, ces deux interventions permettent de réduire au minimum possible la pression articulaire car accessoirement elles diminuent aussi la force de compression exercée sur l'articulation en détendant les muscles péri-coxaux.

L'effet thérapeutique des deux opérations est absolument identique pour autant que, dans chaque cas particulier, le degré de varisation ou de valgisation nécessaire ait été exactement déterminé. Cette mesure exacte n'est possible que grâce au dessin. Nous y reviendrons en détail.

42 *Pauwels, F.:* Über eine kausale Behandlung der Coxa valga luxans. Z. Orthop. **79**, 305–315 (1950).

43 *Pauwels, F.:* Neue Richtlinien für die Behandlung der Coxarthrose. Verh. Dtsch. Orthop. Ges., 48. Kongr. Berlin 1960, p. 332–366. Stuttgart: Enke 1961.

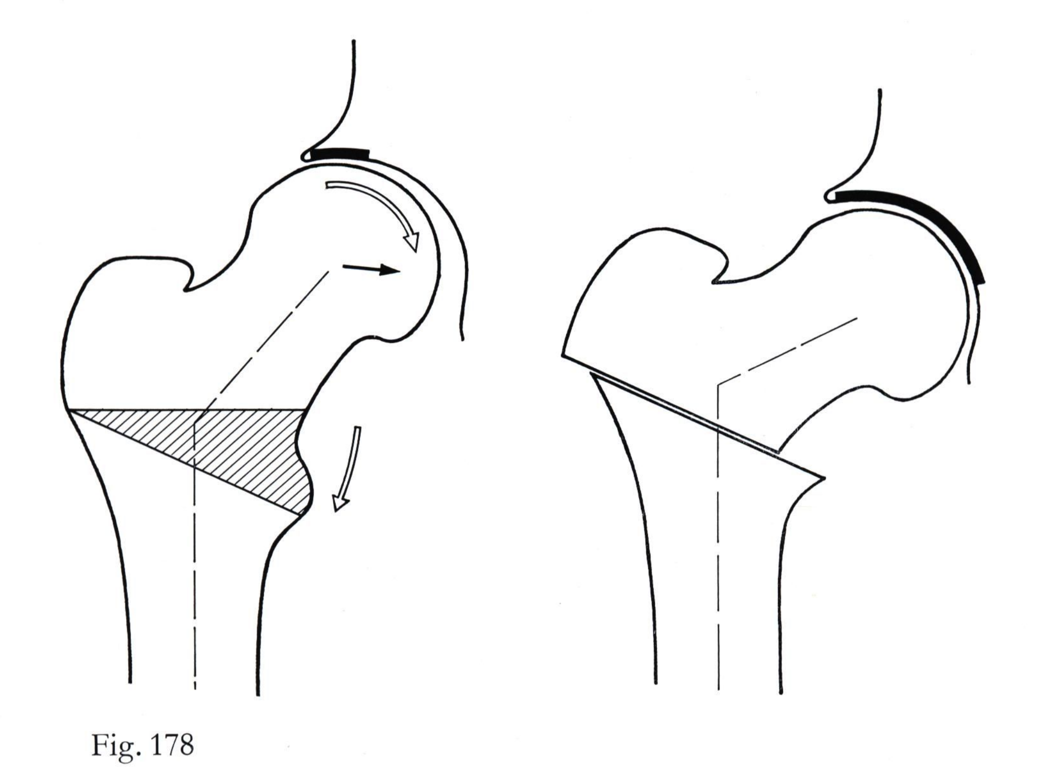


Fig. 178

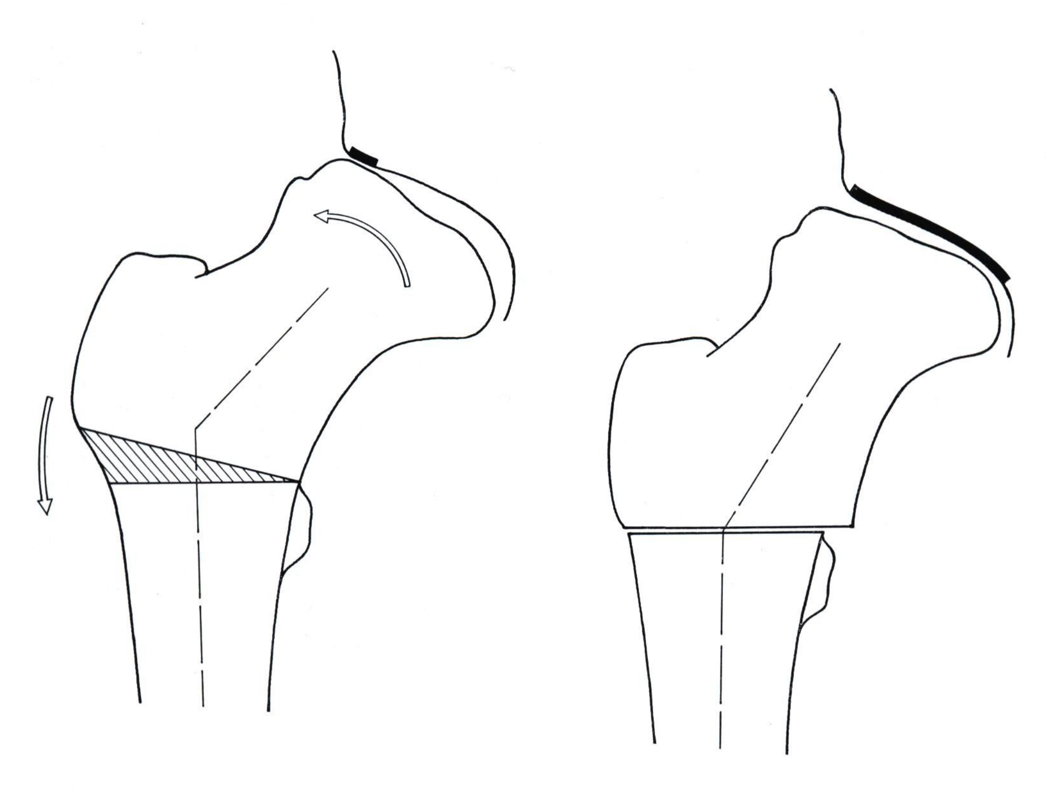


Fig. 179

Lorsqu'il faut faire tourner la tête fémorale en dedans dans son cotyle pour agrandir la surface portante articulaire, c'est l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) qui est indiquée (fig. 180a et b).

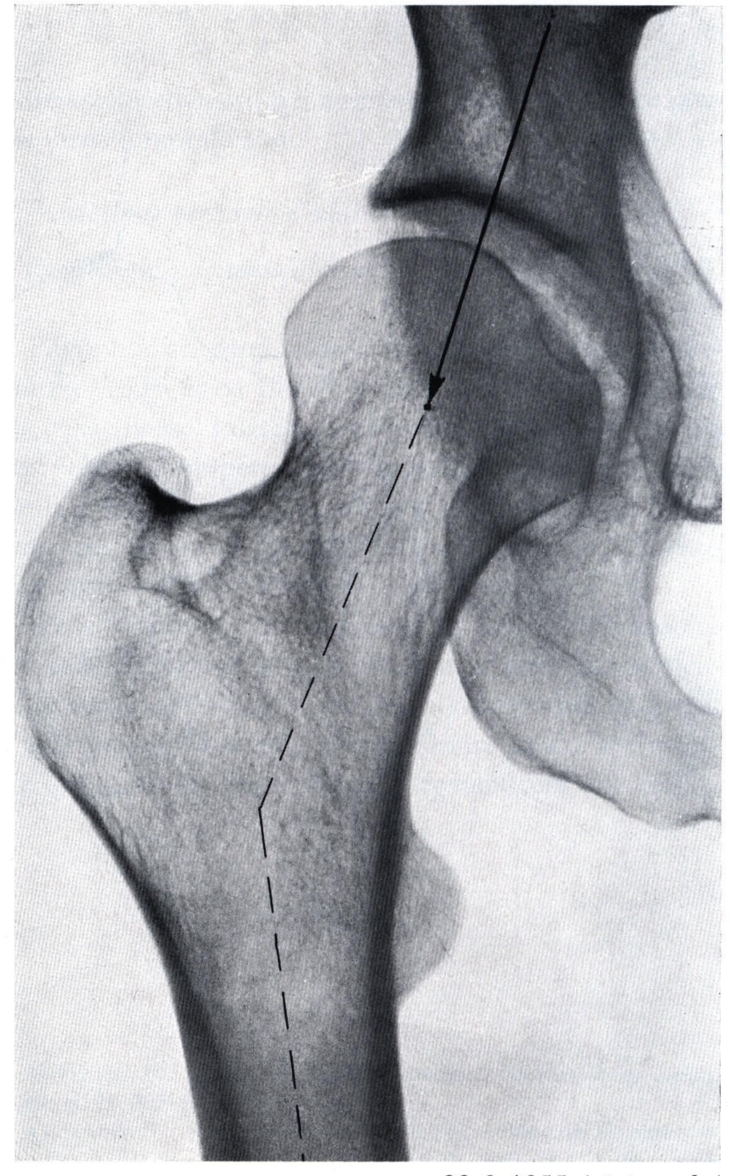
Après résection d'un coin à base médiale, exactement calibré, la tête fémorale est tournée et déplacée en dedans, jusqu'à ce que les contours articulaires soient congruents et que l'on obtienne la plus grande surface portante possible. D'après la situation de chaque cas particulier, ceci exige une varisation variant entre 15° et 40°. En outre, les adducteurs sont détendus par ténotomie percutanée ou à ciel ouvert, les abducteurs et le psoas iliaque par le déplacement proximal des grand et petit trochanters qui suit l'ostéotomie. Enfin le fragment diaphysaire est déplacé en dedans d'à peu près 1 cm pour reprendre sa place physiologique. En voici un exemple.

La radiographie fig. 181a montre la hanche droite d'une assistante sociale de 47 ans avant l'ostéotomie d'adduction. Il existe une coxa valga (150°) avec discrète subluxation de la tête fémorale, pincement de l'interligne au bord du cotyle, condensation triangulaire du tissu osseux dans le toit de l'acetabulum, exprimant l'hyperpression concentrée au bord du cotyle, de même que des kystes dans la tête fémorale. A cause des douleurs, la patiente ne pouvait plus assurer son service.

Dans ce cas, il fallait une varisation de 30° pour obtenir la congruence des surfaces articulaires. Comme le démontre la radiographie fig. 181c prise 16 ans après l'ostéotomie d'adduction, la régénération de l'articulation, obtenue grâce à l'opération, est durable. Le sourcil a perdu sa forme triangulaire. Cette image indique que la pression articulaire, auparavant fortement augmentée et concentrée au bord du cotyle, est maintenant distribuée sur une étendue beaucoup plus grande de la surface articulaire. L'interligne a maintenant partout la même épaisseur.

Depuis l'opération la patiente ne souffre plus. Actuellement âgée de 63 ans, elle pratique encore sa profession de façon normale. Elle marche sans canne ni boîterie. Les mouvements de l'articulation sont complets.

La hanche gauche (fig. 181a) de la même patiente présente elle aussi une coxa valga analogue (150°) mais sans subluxation de la tête fémorale. La forme normale du sourcil prouve que, de ce côté, la pression articulaire n'est pas localement élevée. C'est pourquoi, malgré la coxa valga, aucune altération pathologique ni aucune douleur ne sont survenues.



a *22.9.1955 (côté gauche)*

Fig. 181 a–c
L.K., ♀, née le 8.11.1908,
Opération le 24.11.1955 (à l'âge de 47 ans)

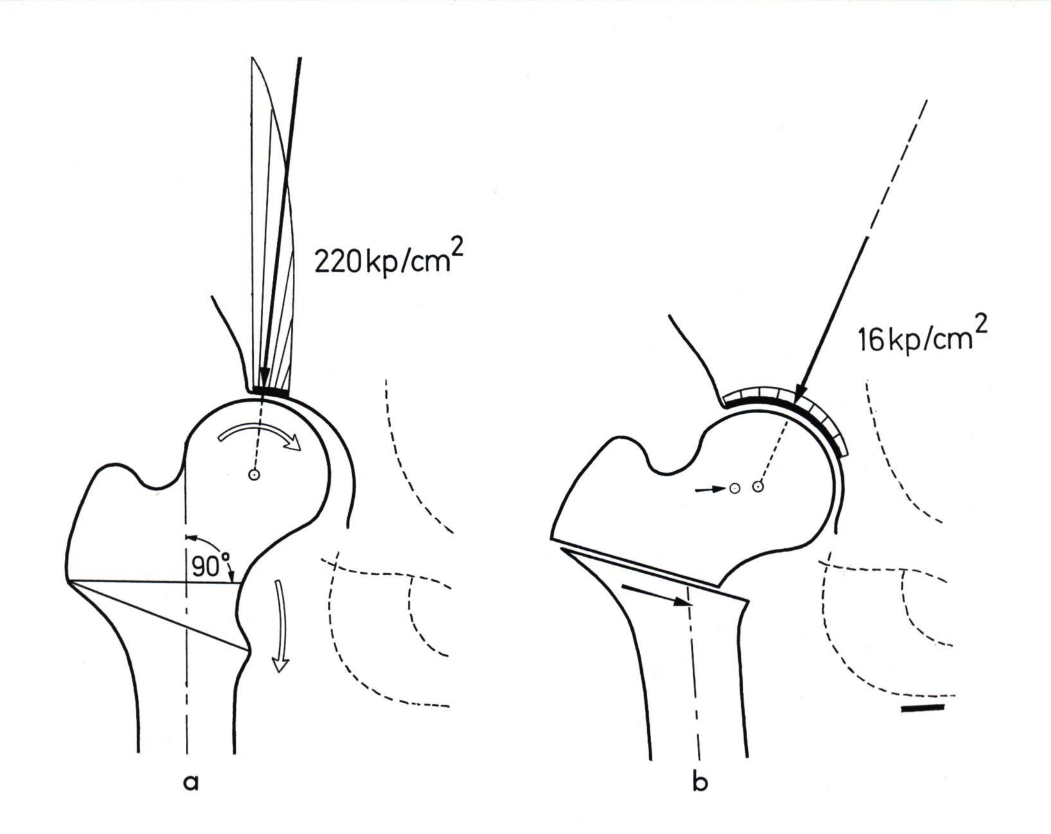


Fig. 180a et b
Schéma de l'ostéotomie d'adduction (PI)

30°
a
b

b *22.9.1955 (côté droit)*

c *17.4.1972 (16 ans 5 mois après l'opération)*

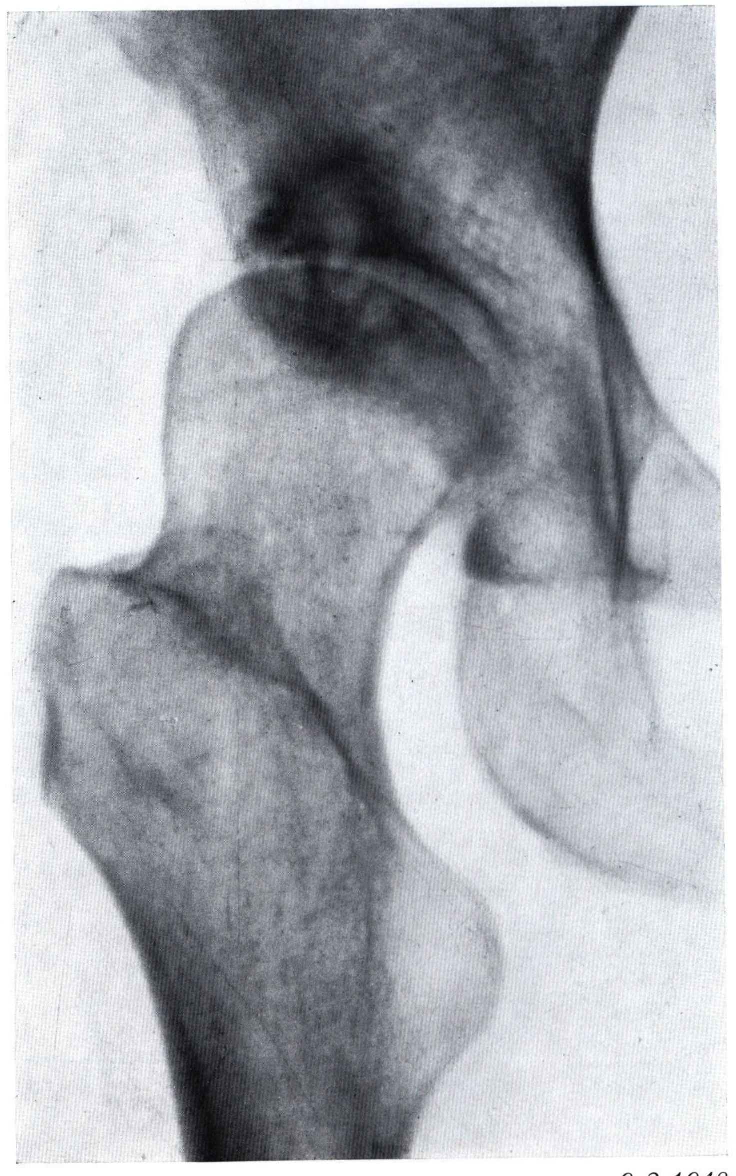
Dans les coxarthroses où il faut tourner la tête fémorale en dehors pour agrandir la surface portante, c'est l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui constitue la solution de choix (fig. 182a et b).

Un coin osseux à base latérale de dimension exactement dosée est réséqué. Sa limite inférieure est perpendiculaire à la diaphyse fémorale et se trouve à hauteur du petit trochanter. Après résection de ce coin, la tête fémorale est tournée en dehors, non seulement jusqu'à ce que les contours articulaires soient congruents mais jusqu'à ce que l'interligne soit environ 2 mm plus large au bord du cotyle qu'en son centre (fig. 184a–c).

L'ostéotomie d'abduction (PII), elle aussi, réduit considérablement la pression articulaire par l'agrandissement de la surface portante qu'elle provoque. En même temps, la force de compression agissant sur l'articulation est réduite par la ténotomie des adducteurs et du psoas iliaque et par la détente des abducteurs que provoque la désinsertion simple ou la translation proximale du grand trochanter d'environ 2 cm. Après l'ostéotomie d'abduction, le fragment diaphysaire est déplacé *latéralement* de façon à éviter une accentuation du valgum physiologique du membre.

La radiographie (fig. 183b) montre une coxarthrose sévère avec subluxation de la hanche droite due au développement d'un ostéophyte en dedans de la tête fémorale, chez une patiente de $54^1/_2$ ans: disparition du cartilage articulaire au bord cotyloïdien, condensation osseuse triangulaire dans le toit du cotyle, dégénérescence kystique dans la tête du fémur.

Après l'ostéotomie valgisante d'abduction (dans ce cas 16°), la condensation osseuse triangulaire du toit a régressé, les kystes dans la tête se sont comblés et l'interligne présente maintenant partout la même épaisseur (fig. 183c). A part une limitation de la rotation, les mouvements de la hanche sont satisfaisants. La patiente marche sans canne et sans boîter. Elle travaille sans douleur 11 heures par jour dans son ménage. (Les différents stades de la régénération articulaire s'observent dans la série de radiographies fig. 300b–f. Comparez la radiographie 300f prise 8 ans et 4 mois après l'opération avec la situation préopératoire fig. 183b. La fig. 183a montre la hanche 14 ans avant l'opération).



a *9.2.1948*

Fig. 183a–c
J.J., ♀, née le 26.5.1908,
Opération le 21.11.1962 (à l'âge de 54 ans et 6 mois)

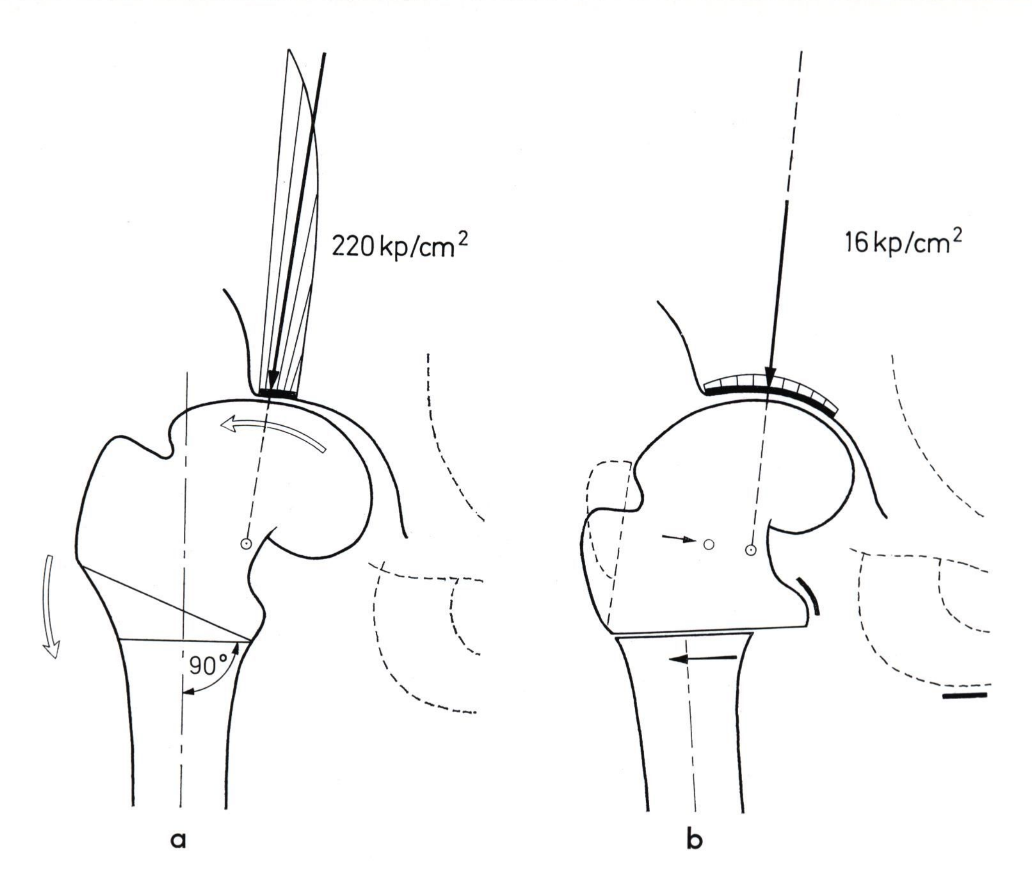
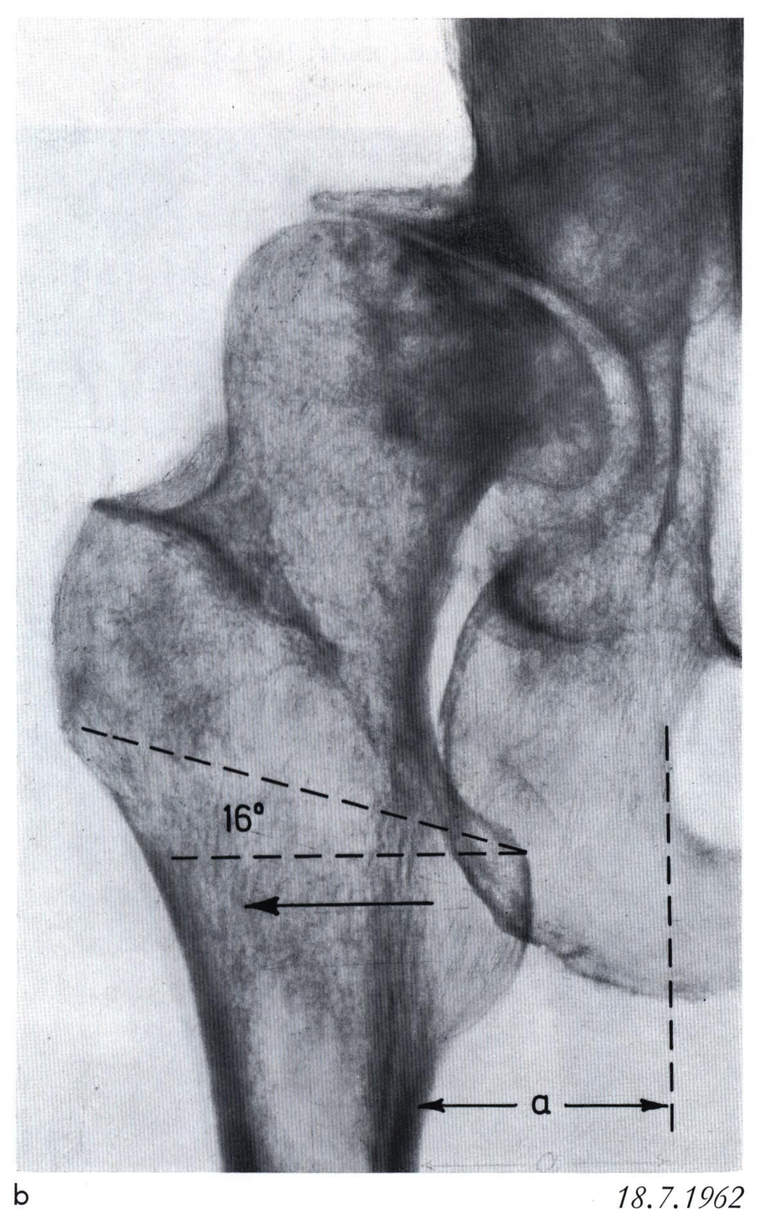


Fig. 182a et b
Schéma de l'ostéotomie d'abduction (PII), nouvelle technique



b *18.7.1962*

c *21.12.1967 (5 ans 1 mois après l'opération)*

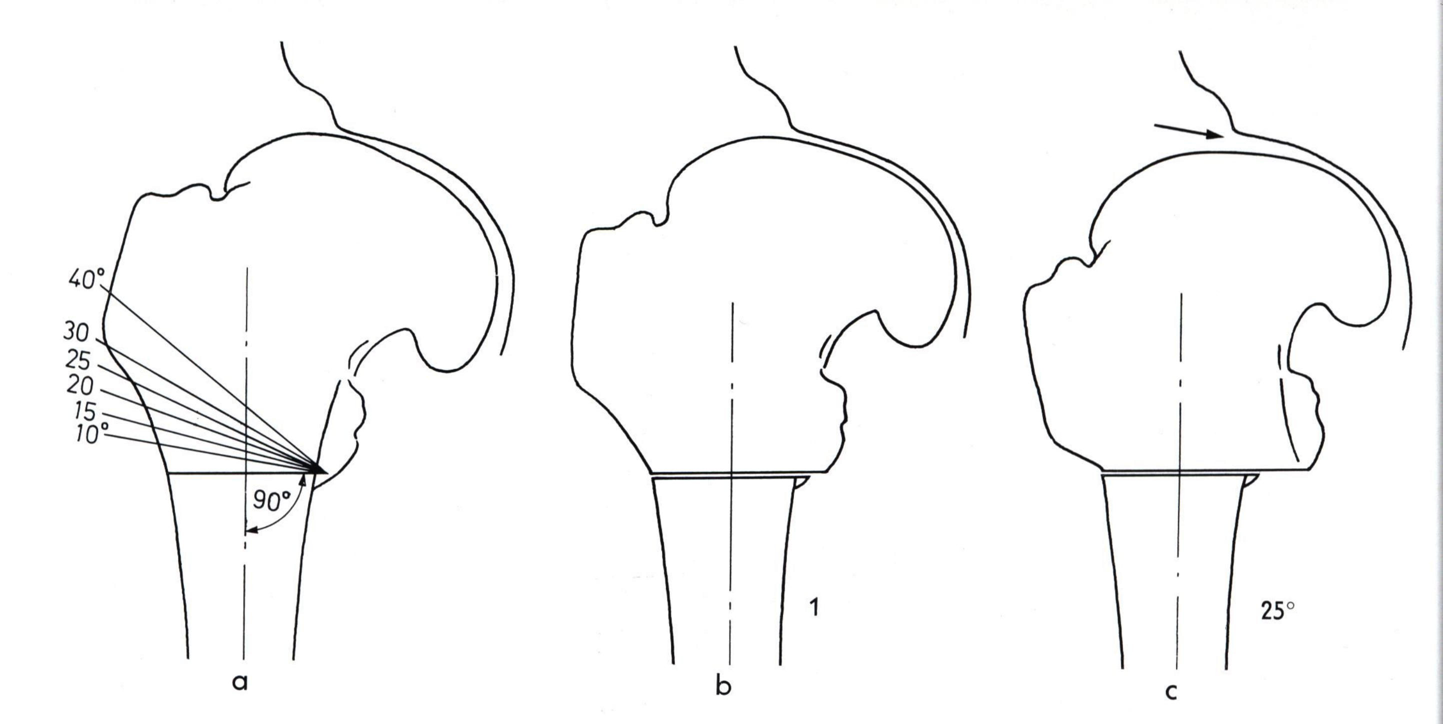


Fig. 184a–c

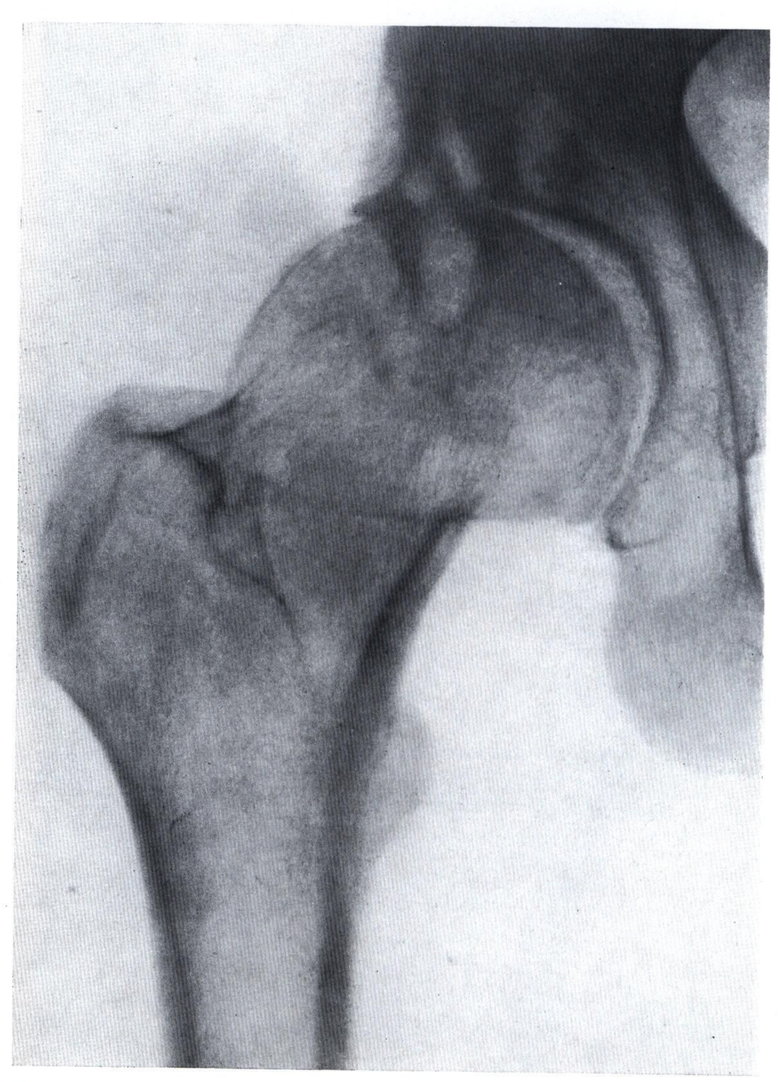
D'abord j'ai réalisé l'ostéotomie d'abduction (PII) par une section oblique (fig. 185a et b), de façon à détendre le psoas iliaque et les adducteurs grâce à la translation proximale du fragment diaphysaire, après enlèvement du coin osseux. Ceci était complètement différent de l'opération de *McMurray* qui voulait offrir un support au bassin de façon à décharger la hanche. Ce type de section osseuse entraînait les inconvénients suivants:

1. raccourcissement du membre,
2. accentuation du valgum physiologique du genou, conséquence de la translation interne de la diaphyse,
3. contact incomplet entre les surfaces d'ostéotomie après une éventuelle dérotation.

La nouvelle technique, décrite plus haut, permet d'éviter tous ces inconvénients (voir fig. 182). Mais les résultats de l'intervention étaient identiques avec l'ancienne technique en ce qui concerne la réduction de la pression articulaire et sa conséquence, la régénération de l'articulation.

La radiographie fig. 186a montre une coxarthrose secondaire fort avancée chez un patient de 52 ans. L'ostéophyte qui commence à se développer en dedans de la tête fémorale a provoqué une discrète subluxation de celle-ci. Le cartilage articulaire a disparu au bord du cotyle. Des pseudo-kystes se trouvent dans la zone de la tête fémorale et du cotyle, où la pression est concentrée.

$12^1/_2$ ans après l'ostéotomie d'abduction (fig. 186c), le patient ne souffre plus. Sa hanche s'est régénérée. Les pseudo-kystes se sont comblés. L'interligne qui s'est reconstitué présente partout la même largeur et est nettement délimité. Les mouvements sont complets et la hanche fonctionne normalement. Le patient marche sans boîter. En rue, il utilise une canne (poids: 100 kg).



a 16.3.1959

Fig. 186a–c
M.B., ♂, né le 3.8.1907,
Opération le 13.10.1959 (à l'âge de 52 ans et 2 mois)

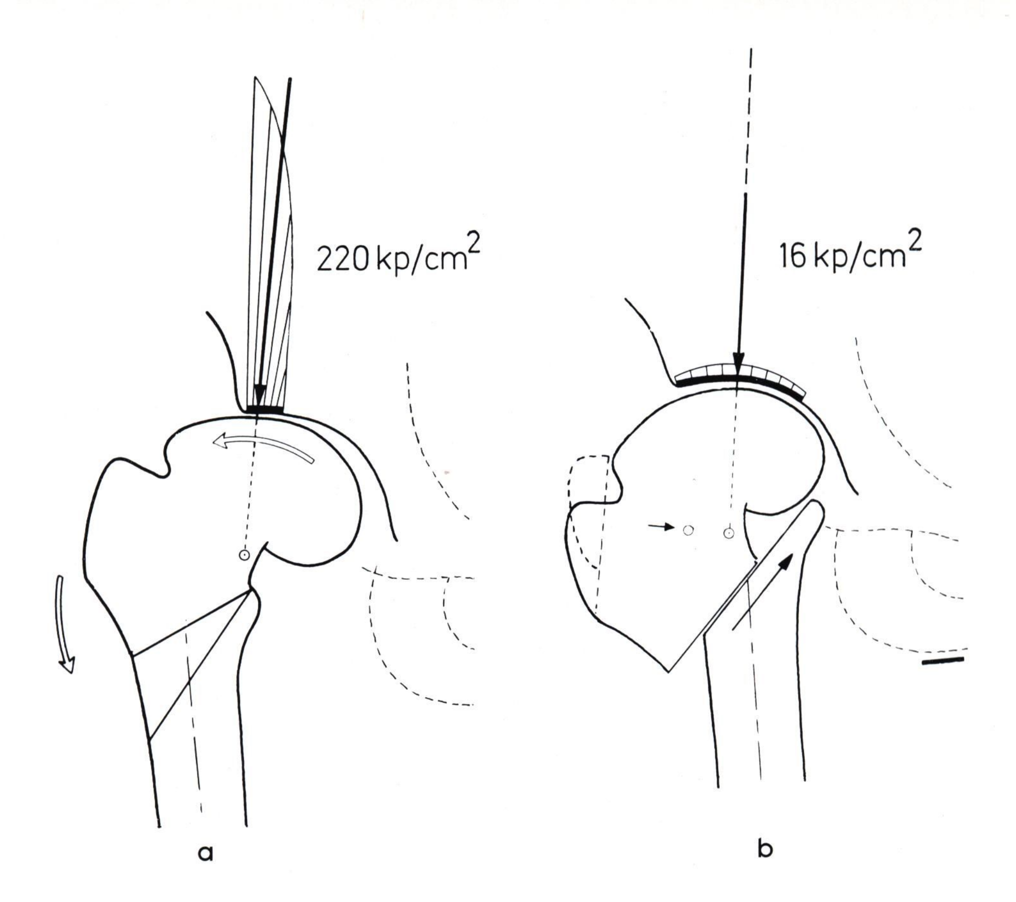


Fig. 185a et b
Schéma de l'ostéotomie d'abduction (PII), ancienne technique

b *9.11.1959* c *24.5.1972 (12 ans 7 mois après l'opération)*

Le schéma de la balance (fig. 187a et b) indique les trois facteurs responsables du rétablissement de l'équilibre biomécanique et ainsi du résultat des ostéotomies d'adduction (PI) et d'abduction (PII):

1. la réduction de la pression articulaire par diminution de la force de compression (*K*—).
2. la réduction de la pression articulaire par agrandissement de la surface portante (*F*—).
3. un éventuel effet favorable de l'ostéotomie, comme telle, sur l'insuffisance des tissus (*B*+).

En même temps, cette image montre clairement dans quelles proportions la diminution de la force de compression et l'agrandissement de la surface portante réduisent la pression articulaire.

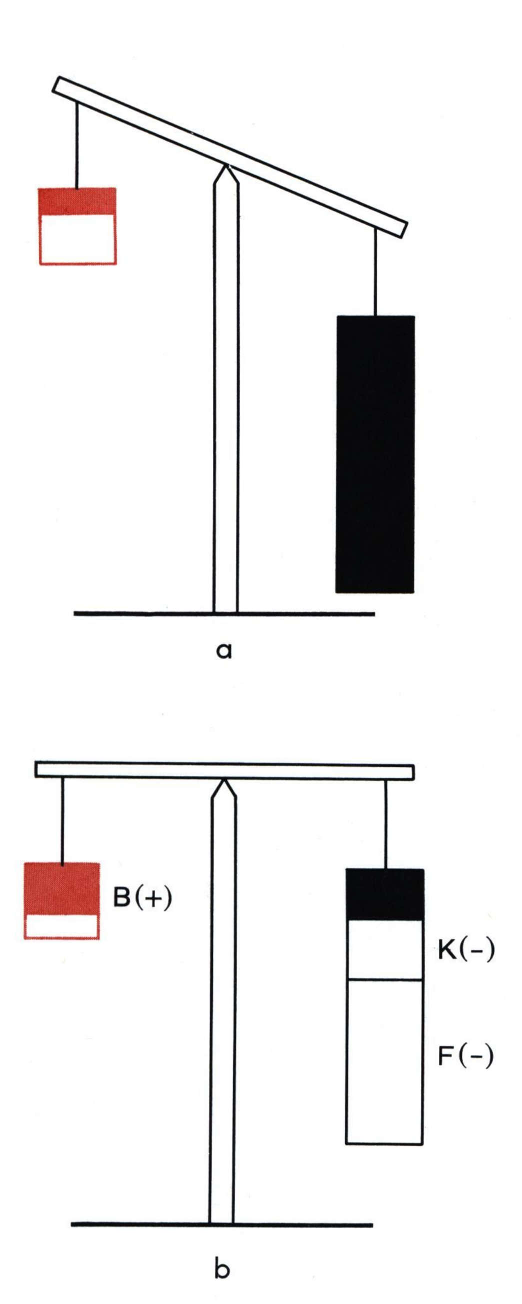


Fig. 187a et b

Après les deux opérations, PI et PII, effectuées pour une coxarthrose avancée, on observe le plus souvent d'abord une résorption plus ou moins prononcée au niveau des contours articulaires (fig. 257 et 272). Régulièrement ensuite, dans le décours des mois suivants, l'articulation se régénère considérablement et retrouve sa fonction. Dans la plupart des cas, même chez des patients âgés de plus de 70 ans (fig. 238), ceci équivaut à une guérison. Un tissu néoformé remplace le cartilage hyalin détruit et produit un interligne articulaire plus ou moins large et bien délimité. Selon la théorie, ce tissu de remplacement doit être du fibrocartilage. En effet, aux endroits où le cartilage hyalin détruit se trouvait sous pression hydrostatique, la pression articulaire s'exerce immédiatement et de façon unidirectionnelle sur le tissu de granulation à potentialités multiples. L'étirement doit alors provoquer la formation de fibrilles collagènes.

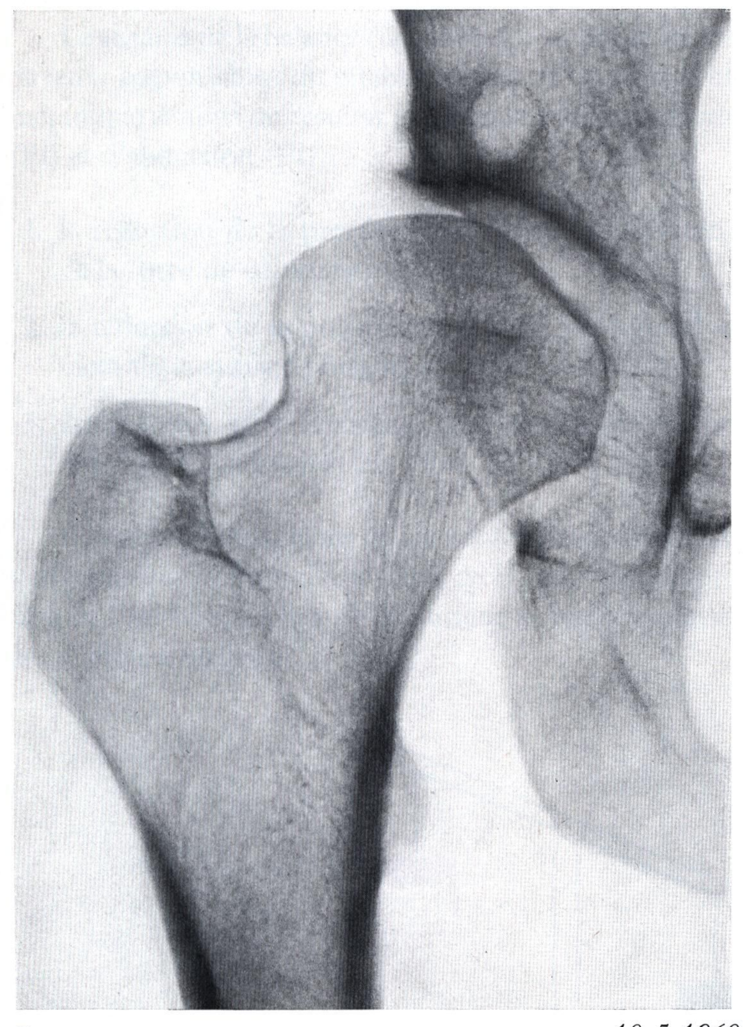
On trouve la même combinaison de tissus, par exemple, dans la zone du tendon (page 7, fig. 10) coulissant sur un fulcrum sous une pression unidirectionnelle. Par analogie, il faut donc s'attendre à un tissu de glissement fonctionnel pour remplacer le cartilage articulaire détruit.

Les trois cas (fig. 236, 263 et 272) en apportent la confirmation. Malgré l'interligne articulaire néoformé très étroit, les mouvements et la capacité fonctionnelle de la hanche se sont révélés étonnamment bons dès le début et le sont restés depuis plus de 10 ans.

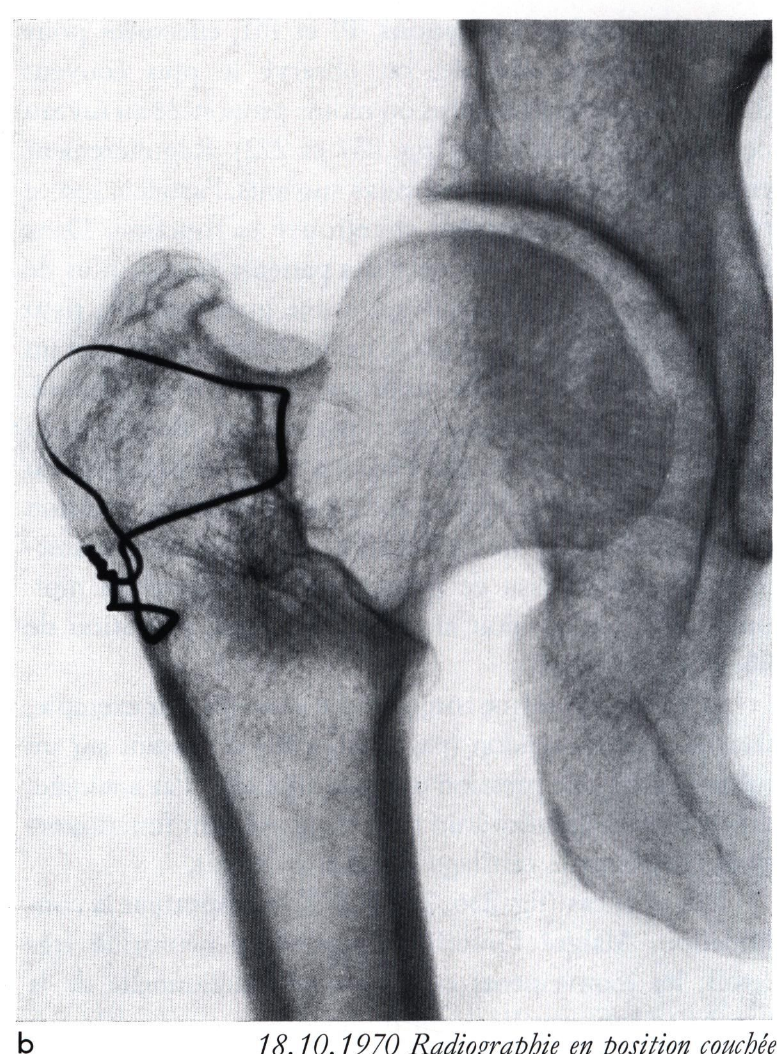
A 71 ans, 11 ans après l'ostéotomie d'adduction (fig. 236c), le patient P.L. (fig. 236) jouait encore au golf deux fois par semaine, parcourant chaque fois 3 à 4 km sans douleur. La comparaison de la radiographie prise 3 ans après l'opération (fig. 236b) avec la dernière (fig. 236c) indique que la régénération articulaire a encore progressé dans l'intervalle.

La radiographie (fig. 263b) montre la situation d'un patient (H.B.) de 63 ans, 13 ans après l'ostéotomie valgisante d'abduction. Malgré un interligne très étroit, les mouvements de la hanche sont à peine limités et la capacité fonctionnelle est étonnante. Durant les congés de ces dernières années, le patient (poids: 95 kg) a effectué des petites marches en montagne de 2 à 4 heures, en utilisant une canne. Il affirme qu'après ses promenades, la hanche opérée n'a jamais fait mal et n'est pas plus fatiguée que l'autre.

De même le patient R.D. (fig. 272), âgé de 75 ans, $11^{1}/_{2}$ ans après l'ostéotomie d'abduction (PII), ne se plaint d'aucune douleur. Ce n'est que pour des promenades dépassant 3 à 4 heures qu'il utilise une canne. Sauf la rotation interne limitée au tiers de la normale, les mouvements sont complets, la marche aisée et sans boîterie.



a 10.5.1960



b *18.10.1970 Radiographie en position couchée (10 ans 5 mois après l'opération)*

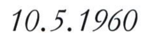
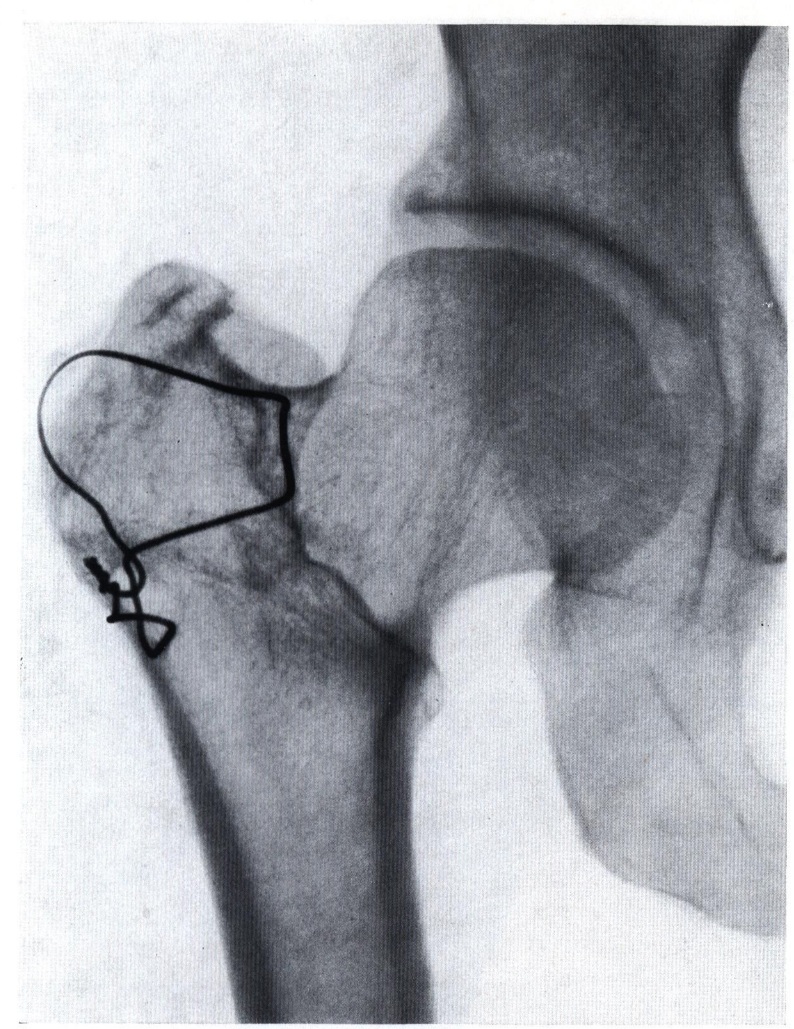


Fig. 188a–c
C.W., ♀, née le 29.9.1923,
Opération le 13.5.1960 (à l'âge de 36 ans et 7 mois)

Comme on l'a parfois remarqué, il existe certainement des cas où l'élargissement de l'interligne articulaire ne provient pas d'une régénération mais apparaît déjà durant l'opération, par exemple durant une ostéotomie d'adduction lorsque la rotation en dedans de la tête fémorale fait rentrer sous le cotyle une partie de cette tête encore couverte de cartilage et qui jusqu'alors se trouvait en dehors de l'articulation. Cependant, affirmer qu'un large interligne radiologique est une illusion provoquée par la décharge de la hanche chez le patient couché est complètement erroné. Cette objection est réfutée par les radiographies suivantes.

Une patiente ayant subi 10 ans auparavant une ostéotomie d'adduction (PI) a été radiographiée couchée (fig. 188b) et, immédiatement après, debout en charge (fig. 188c). La comparaison des deux radiographies, comme il fallait s'y attendre, ne montre pas la moindre différence de largeur de l'interligne articulaire.

Pour permettre de juger objectivement la valeur thérapeutique des ostéotomies d'adduction (PI) et d'abduction (PII), ces deux opérations ont été exécutées par moi-



c *18.10.1970 Radiographie en position debout sur un seul pied*

même et par mes élèves sans adjonction d'autres mesures recommandées dans la littérature. Par exemple, dans aucun cas les kystes n'ont été ouverts ou bourrés de greffons. L'expérience nous a en effet appris que même les pseudokystes les plus volumineux se comblent spontanément lorsque la pression articulaire est réduite (fig. 220, 251). De même la capsule articulaire n'a pas été ouverte bien que, d'après certains, elle devrait l'être dans chaque cas puisque les déchets dus à l'usure de l'articulation s'accumulent dans son cul-de-sac inférieur (!) et seraient la cause principale des douleurs.

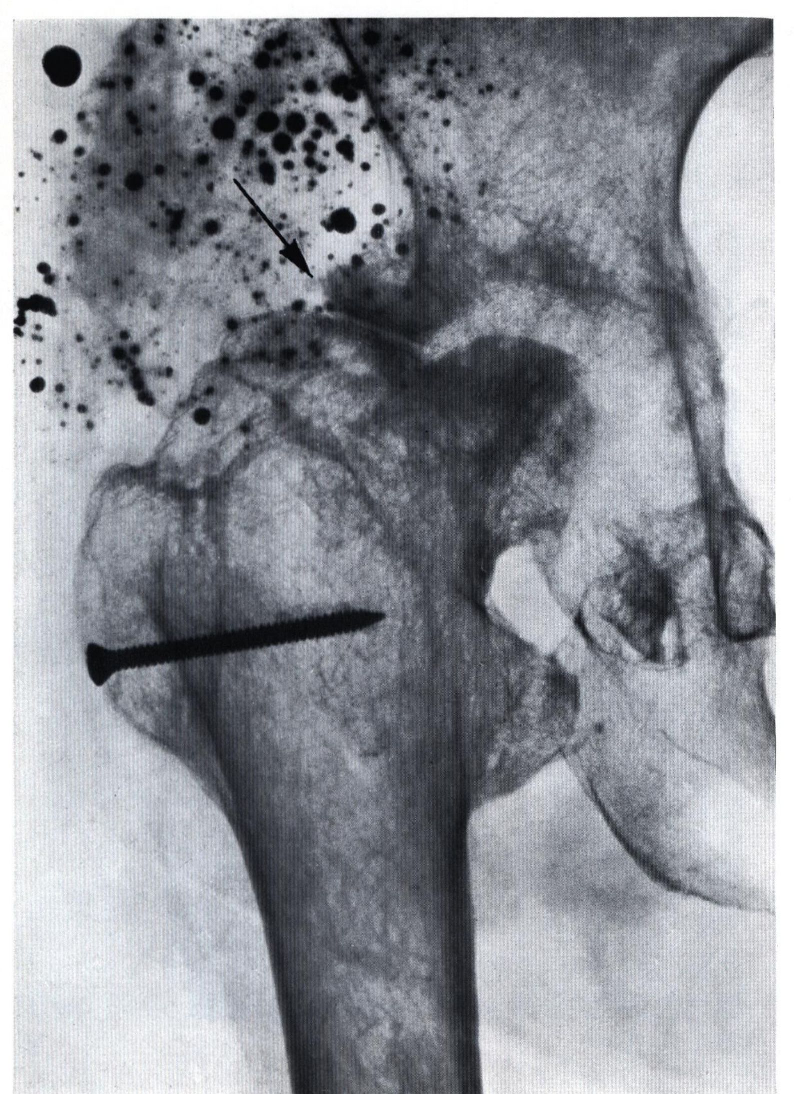
En réalité, la douleur typique de la coxarthrose est tout d'abord une douleur osseuse provoquée par la concentration d'une pression pathologiquement élevée dans une petite zone de l'articulation. Elle disparaît immédiatement après la réduction et la répartition chirurgicales de la pression articulaire. Le décours du cas fig. 189 en fournit un exemple frappant.

La radiographie (fig. 189a) montre la situation après une arthroplastie de la hanche par interposition de fascia lata, réalisée ailleurs.

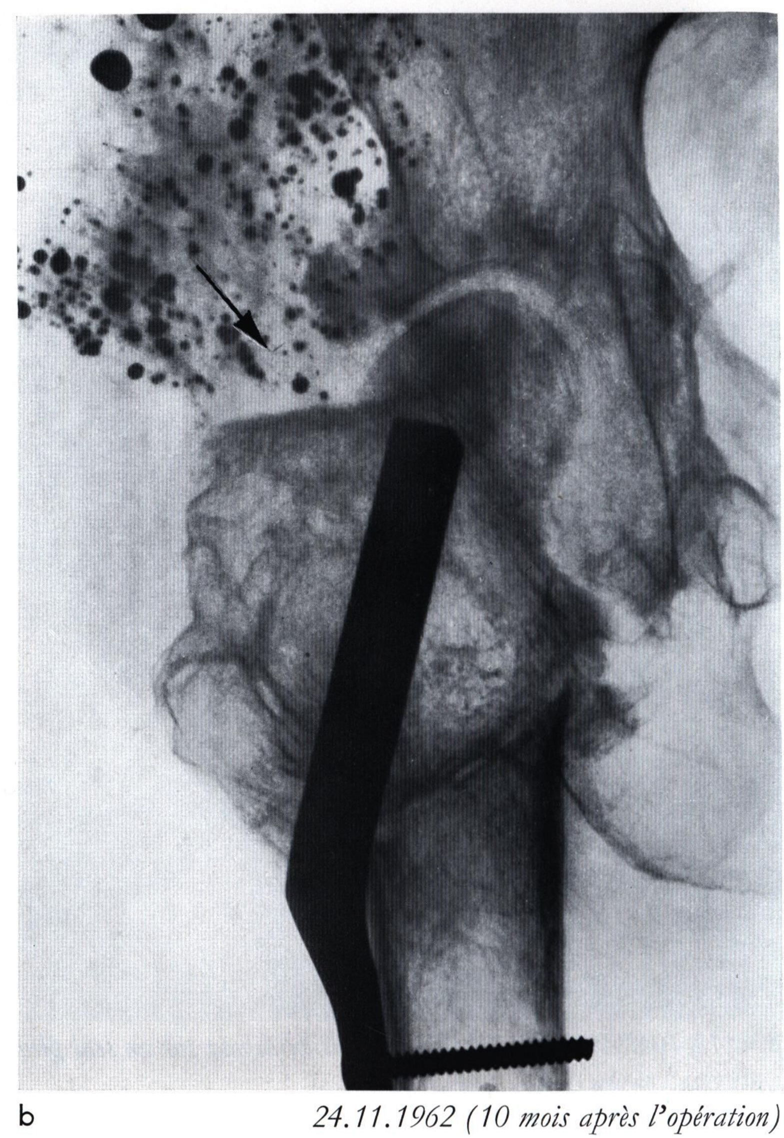
A cause de la douleur particulièrement intense, la patiente, âgée de 78 ans, ne pouvait plus s'appuyer sur le membre et ne se déplaçait que péniblement avec deux béquilles. Elle avait perdu la confiance et le goût de la vie.

Une ostéotomie d'abduction déchargea complètement le bord du cotyle (fig. 190a et b). Son résultat (fig. 189b) confirme qu'il s'agissait bien d'une douleur osseuse provoquée par la pression élevée, concentrée dans une petite zone à cause de l'appui du rebord cotyloïdien sur le grand trochanter.

Dès le lendemain de l'opération, la patiente pouvait prendre appui sur le membre opéré, sans douleur. Après 8 jours elle se promenait aidée de deux béquilles. D'après le médecin traitant, 6 ans après l'opération cette patiente vivant à l'étranger ne se plaignait d'aucune douleur.

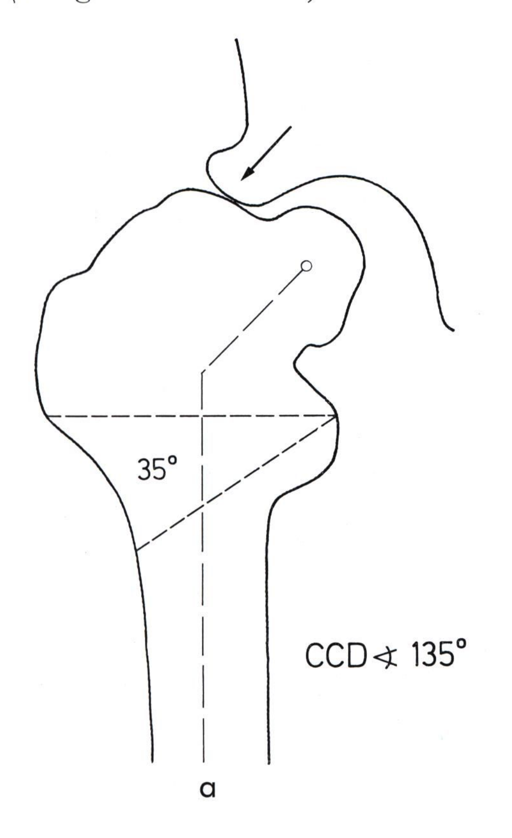


a 10.11.1961



b 24.11.1962 *(10 mois après l'opération)*

Fig. 189a et b
J.C., ♀, née le 20.8.1883,
Opération le 19.1.1962 (à l'âge de 78 ans 5 mois)



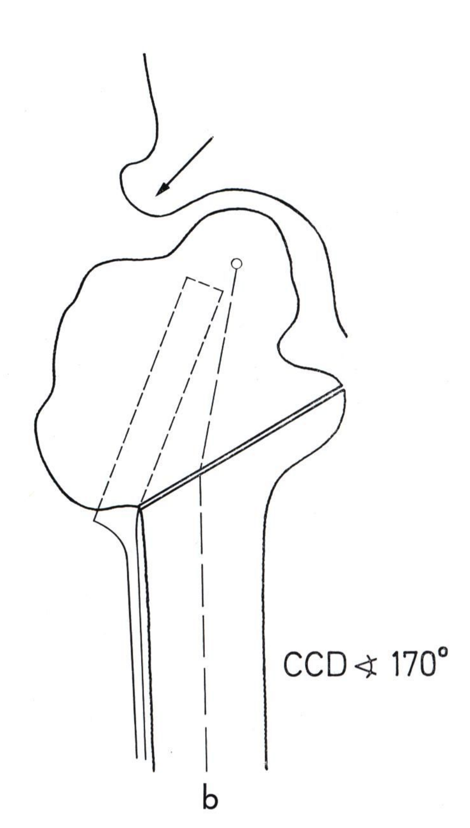
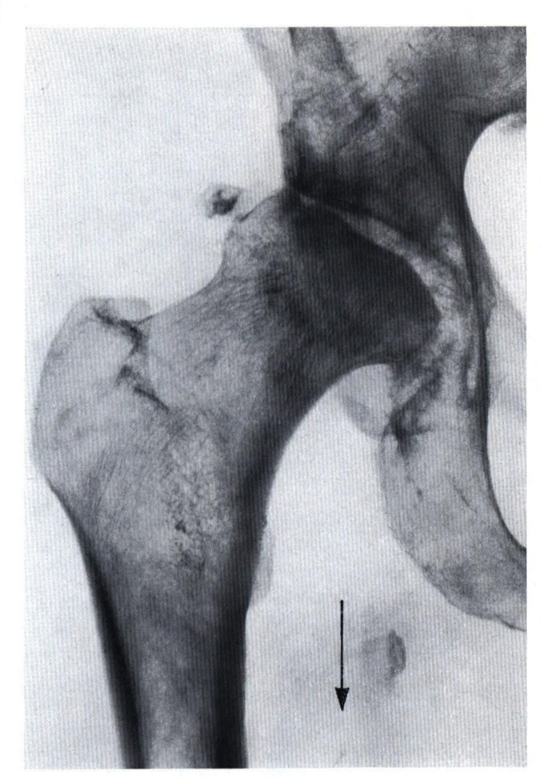
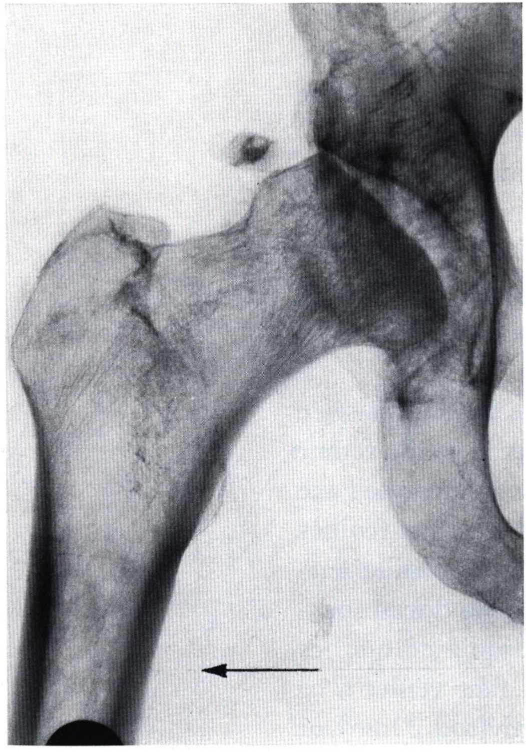




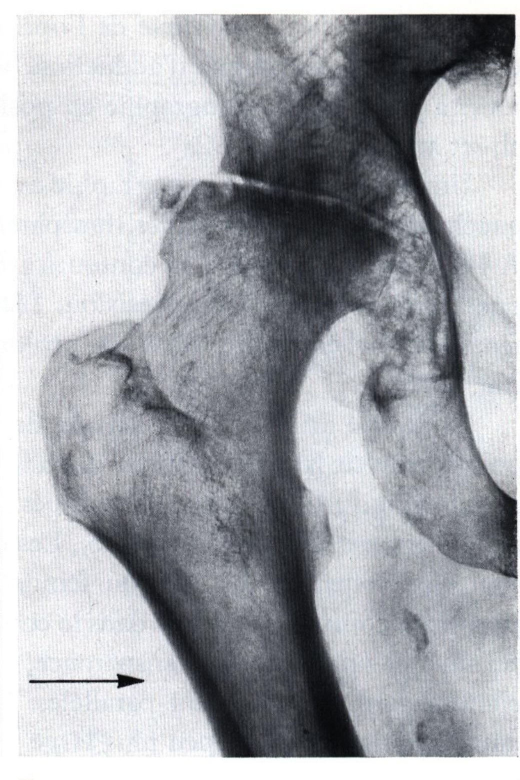
Fig. 190a et b



a



b



c

Fig. 191 a–c

b) Indication et préparation de l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) et de l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII)

Dans un cas donné, le choix entre ostéotomie varisante d'adduction et ostéotomie valgisante d'abduction, dans le but d'augmenter la surface portante articulaire, se révèle souvent difficile. Ce n'est pas le type de déformation ni son étiologie qui le déterminent mais exclusivement la grandeur et la distribution de la pression articulaire. Par exemple, c'est une grossière erreur d'admettre que, dans chaque cas de subluxation de la tête fémorale, une ostéotomie varisante d'adduction (PI) est indiquée. Cette erreur a entraîné bien des échecs qui furent injustement attribués à la méthode.

A partir de radiographies spéciales et de dessins convenables, il faut d'abord décider empiriquement laquelle des deux interventions permettra d'agrandir au maximum la surface portante de l'articulation. Ceci suppose quatre clichés radiographiques:

1. la vue d'ensemble habituelle du bassin. Elle montrera s'il existe une contracture en abduction ou en adduction, dont il faudra tenir compte pour le dosage de l'opération.
2. trois radiographies de la hanche malade sur film 24×30 cm. Les trois sont prises avec membre en rotation interne et rayon centré sur l'articulation (fig. 191a–c):
   a) une en position intermédiaire entre adduction et abduction de la cuisse,
   b) une en abduction maximale,
   c) une en adduction maximale.

Déjà les deux dernières radiographies (191b et c) montrent souvent s'il faut tourner la tête fémorale en dedans ou en dehors dans son cotyle pour agrandir la surface portante. Dans ce cas, par exemple, le cliché en adduction (fig. 191c) indique qu'une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) est indiquée. Cependant, en règle générale, cette question ne peut être résolue de façon satisfaisante que par le dessin, particulièrement en ce qui concerne le dosage, c-à-d. la grandeur et la situation du coin osseux à réséquer. Lorsque le doute persiste, le dessin opératoire doit être préparé aussi bien pour une ostéotomie d'adduction (PI) que pour une d'abduction (PII).

Cependant, si les contours articulaires ne se distinguent pas parfaitement, les radiographies en ab- et en adduction du membre doivent être répétées immédiatement avant l'intervention, sous narcose, après relâchement de l'articulation par traction sur le membre et ténotomie des adducteurs (fig. 249).

La préparation graphique de l'opération sera d'abord décrite pour l'ostéotomie d'adduction. Elle s'effectue toujours à partir de la radiographie en position neutre, entre ab- et adduction (fig. 192a).

Un croquis de cette radiographie est tracé sur la moitié gauche d'une feuille de papier transparent de format DIN A 4 déposée sur le film. Les contours articulaires sont calqués avec la plus grande précision. L'axe de la diaphyse fémorale est en outre tracé et prolongé vers le haut (fig. 192b).

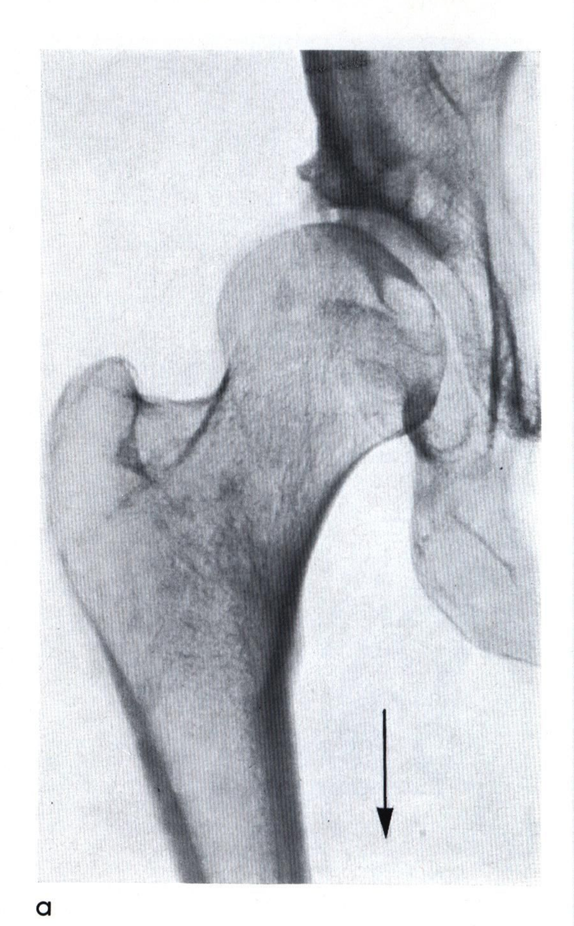
La moitié droite, encore vierge, de la feuille est pliée pour recouvrir la moitié gauche. La tête et le col du fémur avec le grand trochanter y sont calqués de même que l'axe de la diaphyse fémorale (fig. 192c). Les deux demi-feuilles sont alors séparées. La tête du fémur de la feuille sus-jacente est tournée en dedans dans le cotyle du dessin sous-jacent, qui apparaît par transparence, jusqu'à ce que les contours articulaires soient parallèles. Il faut veiller à ce que l'interligne soit un peu plus large (environ 2 mm) au bord du cotyle qu'au centre (fig. 192d). L'angle formé par l'axe diaphysaire du dessin sous-jacent et par celui de la demi-feuille sus-jacente donne la dimension du coin à réséquer (ici 25°) pour rendre congruents les contours articulaires et agrandir au maximum la surface portante de l'articulation.

Pour compléter l'esquisse opératoire, le coin à réséquer est porté dans le premier dessin. Son trait supérieur coupe la diaphyse fémorale à angle droit à partir du tubercule innominé. Son trait inférieur forme avec le supérieur l'angle déterminé et atteint le petit trochanter (fig. 192e).

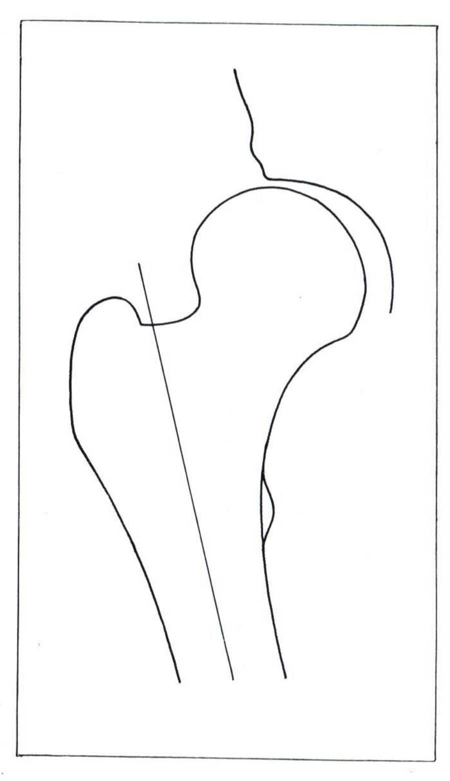
Pour vérifier si la résection du coin ainsi mesuré assure bien la congruence des surfaces articulaires, l'intervention est exécutée sur papier. Le fragment distal de l'ostéotomie est d'abord calqué sur une nouvelle feuille, avec l'axe diaphysaire (fig. 192f). La feuille est alors tournée jusqu'à ce que les deux traits d'ostéotomie se recouvrent. Après déplacement du fragment distal d'environ 1 cm en dedans, le fragment supérieur est calqué (fig. 192g).

Finalement la feuille supérieure est tournée dans le sens des aiguilles d'une montre. La tête fémorale est placée dans son cotyle en glissant le dessin parallèlement à l'axe de la diaphyse fémorale. Le cotyle est alors calqué lui aussi (fig. 192h).

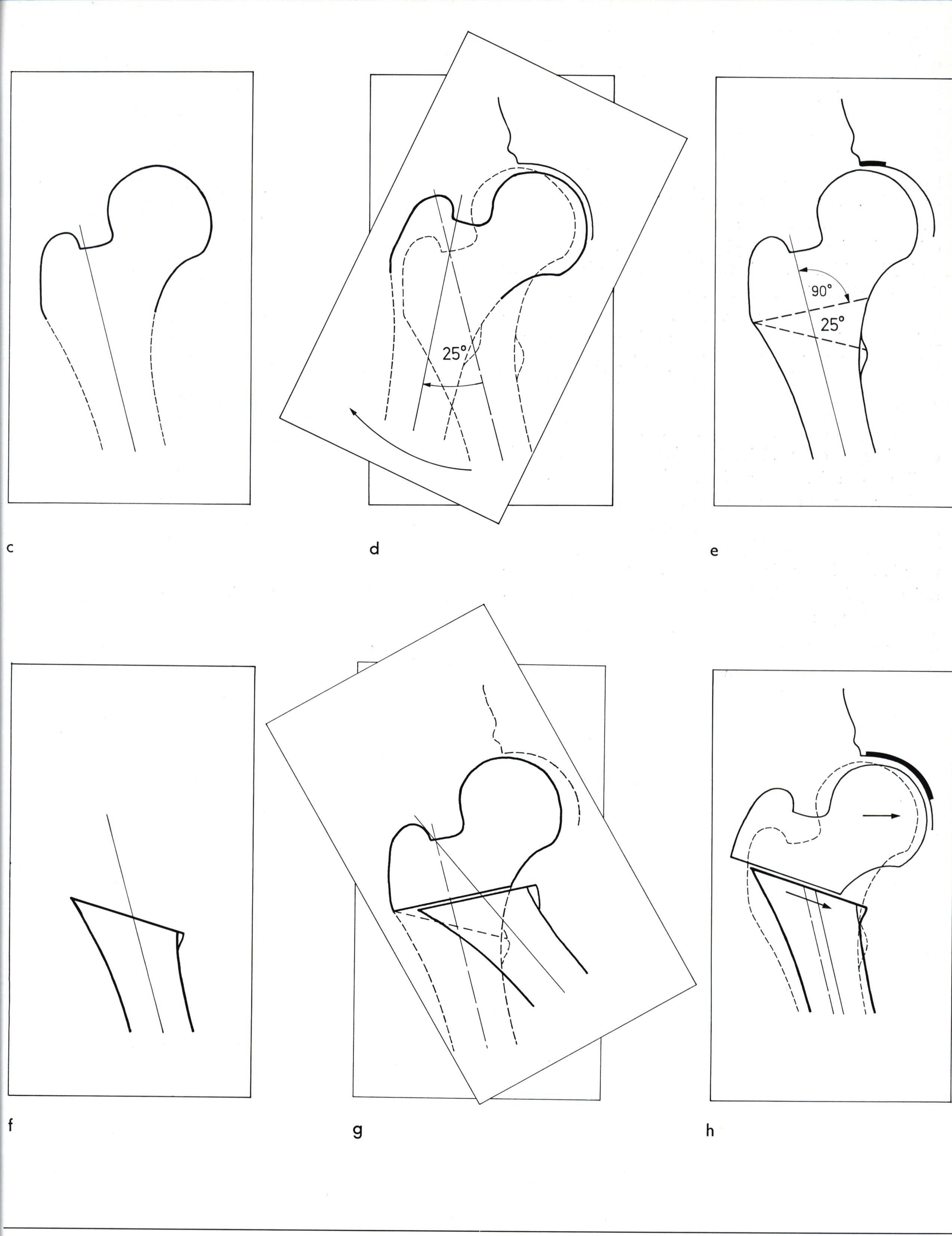
Fig. 192a–h



a



b


25°
90°
25°
c
d
e
f
g
h

Si les radiographies dans les trois positions montrent qu'une rotation de la tête fémorale en dehors est nécessaire pour rendre les surfaces articulaires congruentes, c'est une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui est indiquée. La préparation de l'opération et le dessin opératoire s'effectuent de façon analogue à partir de la radiographie en position neutre (fig. 193a–f). Mais, comme l'indique le dessin (fig. 193d), pour déterminer le coin à réséquer la tête fémorale est ici tournée en dehors. Le trait inférieur du coin croise l'axe de la diaphyse fémorale à angle droit et atteint le milieu du petit trochanter. Le trait supérieur forme avec l'inférieur l'angle déterminé (ici 16°) et se dirige vers le grand trochanter (fig. 193e). Enfin le fragment inférieur est déplacé en dehors pour éviter d'accentuer le valgum physiologique du membre (fig. 193f).

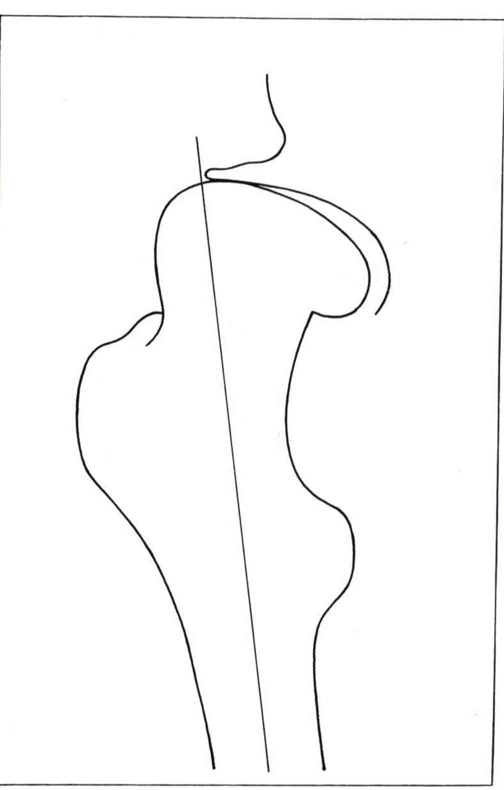
Lors de l'exécution chirurgicale des deux opérations (PI et PII), les limites du coin à réséquer sont marquées dans l'os par des broches de *Kirschner* introduites sous contrôle radiologique. L'ostéotomie est effectuée à la scie oscillante en suivant ces repères.

Pour fixer les fragments de l'ostéotomie d'adduction, j'utilisais auparavant 2 à 3 clous (fig. 220d), le plus souvent avec un hauban métallique complémentaire (fig. 225b, pour la technique voir page 62, fig. 72a–c). L'immobilisation en plâtre était indispensable durant 6 à 8 semaines. Pour l'éviter je me suis servi plus tard d'un clou-plaque de *Böhler* modifié pour l'ostéotomie d'adduction et d'un clou-plaque de *Blount* pour l'ostéotomie d'abduction. L'angulation entre clou et plaque était choisie d'après le dessin opératoire.

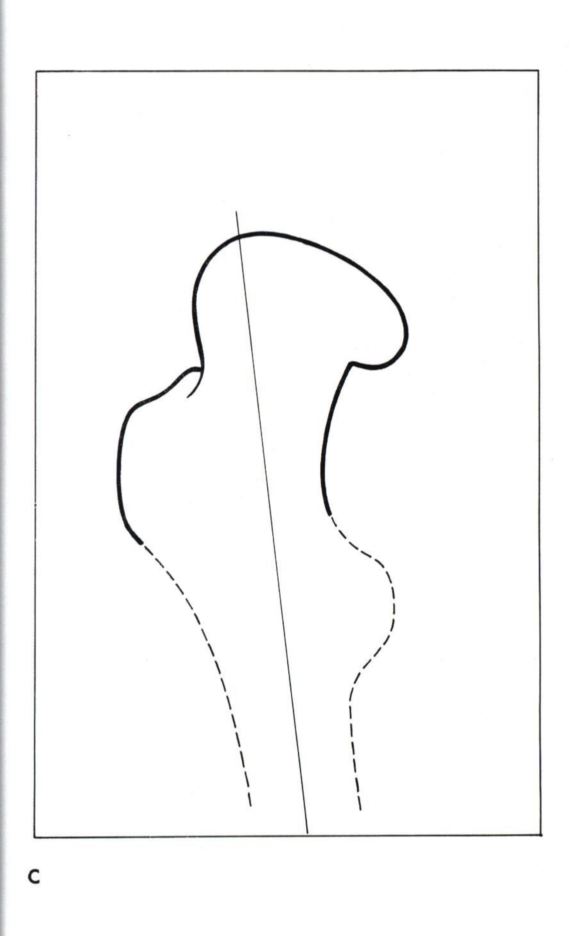


Fig. 193a–f

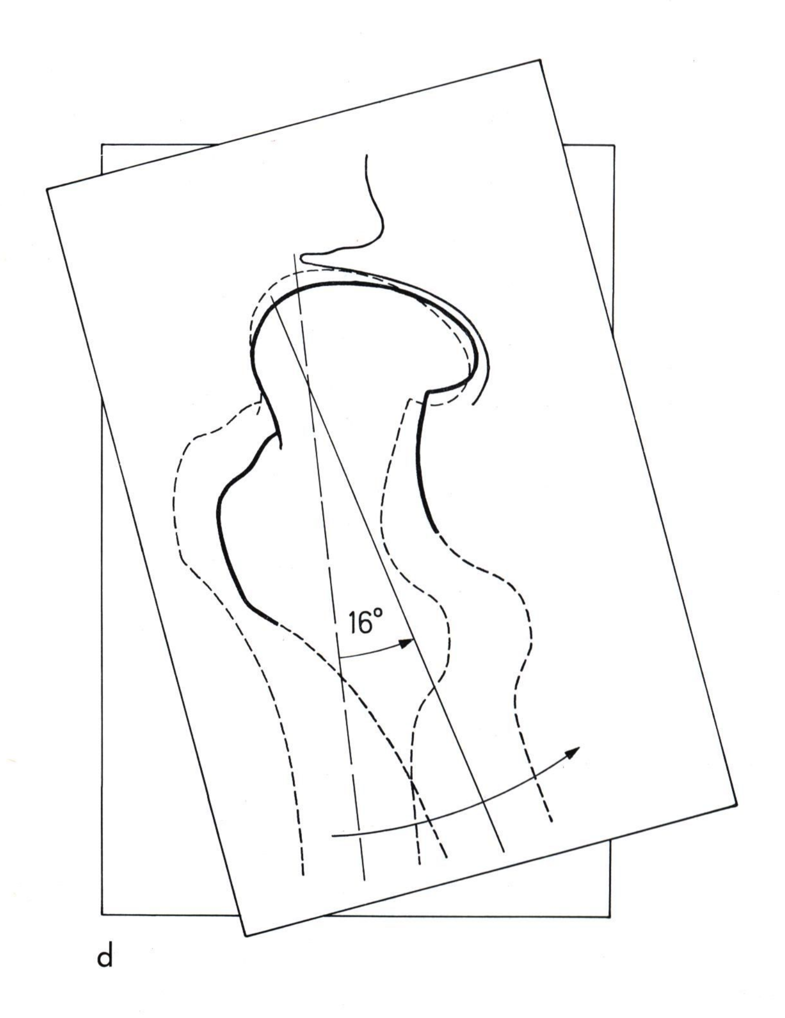
a *18.7.1962*



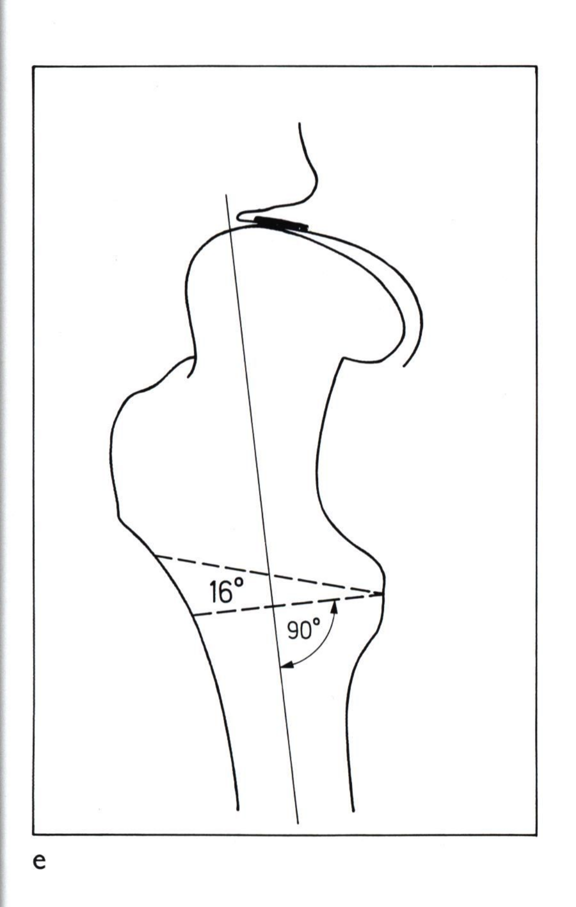
b



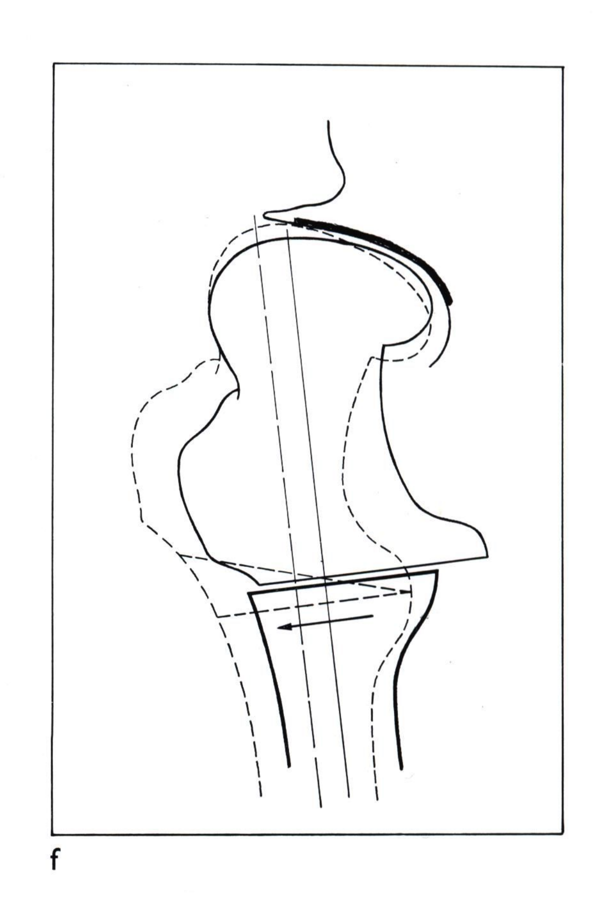
c



d



e



f

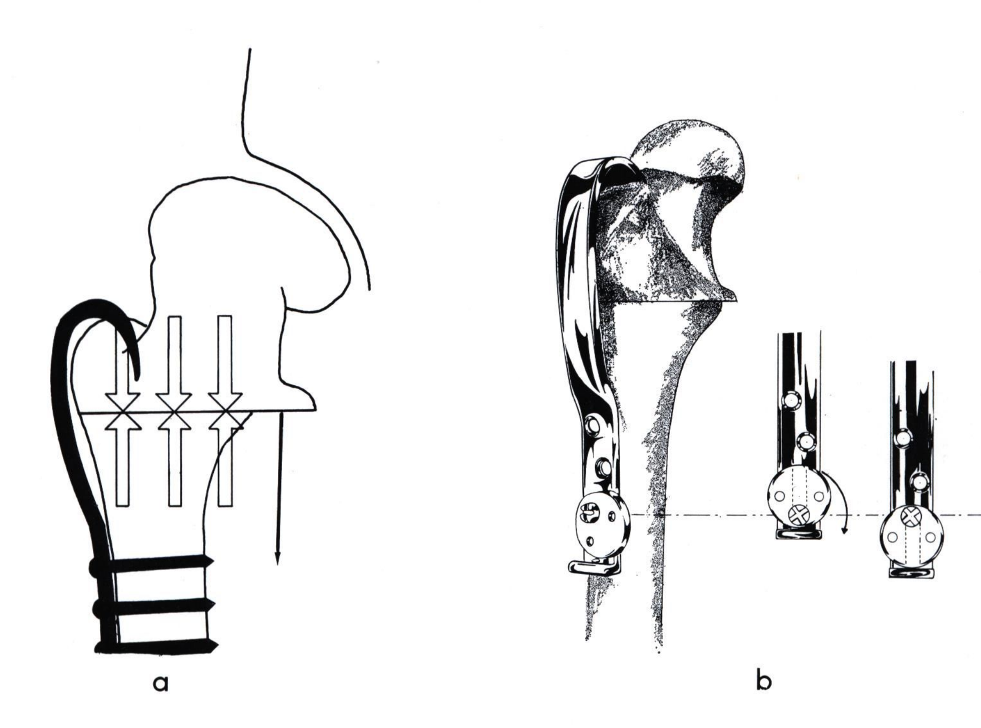


Fig. 194a et b

Au cours des dernières années, le coapteur de *Maquet*[44] (fig. 194a et b) s'est révélé le meilleur moyen de fixation pour les deux opérations. Après mise en précontrainte par l'excentrique de *J.N. Müller* (Strasbourg), il agit comme un hauban et assure une fixation sous compression suffisamment stable pour permettre aux patients de se lever et de marcher 3 jours après l'opération, et de quitter l'hôpital après 2 à 3 semaines. Le coapteur de *Maquet* présente aussi l'avantage de ne pas perturber la vascularisation du col fémoral, contrairement aux clous. En outre, sa mise en place n'exige pas de radiographie de profil peropératoire, nécessaire pour vérifier la position correcte d'un clou.

Le traitement postopératoire des deux interventions consiste principalement à décharger partiellement le membre opéré pendant la régénération articulaire qui dure en général entre 6 et 12 mois. Durant les 6 premiers mois, deux cannes-béquilles sont utilisées, ensuite une seule canne-béquille portée du côté opposé au membre opéré. *Dans tous les cas il faut éviter la mobilisation active.*

L'inconvénient de cette phase de régénération relativement longue est largement compensé par les excellents résultats à longue échéance qui jusqu'à présent dépassent ceux de n'importe quelle arthroplastie (voir chap. II.C.7, page 262).

44 *Maquet, P.:* La fixation des fragments fémoraux après ostéotomie intertrochantérienne. Acta orthop. belg. **33**, 57–66 (1967). — Le coapteur à griffes pour ostéotomie intertrochantérienne. Acta orthop. belg. **37**, 496–504 (1971).

c) Résultats de l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) dans la préarthrose et le stade précoce de la coxarthrose

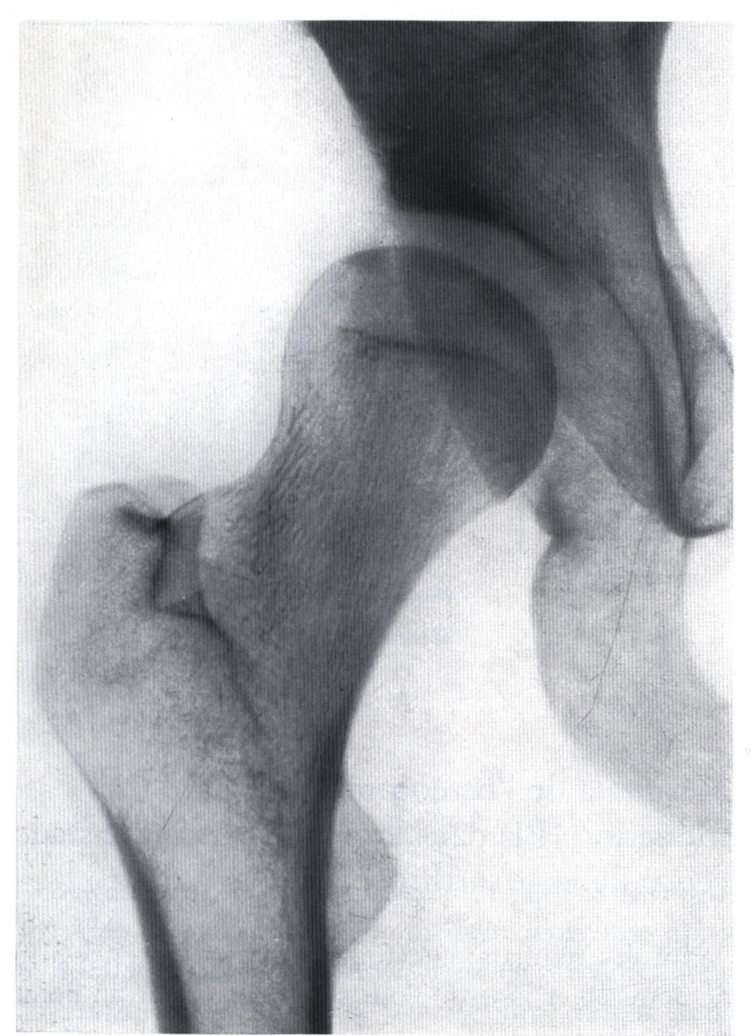
Le recul des résultats opératoires suivants (fig. 195–219) varie entre 10 et 28 ans. Tous ces résultats ont un point commun: la condensation triangulaire du toit du cotyle a régressé, le sourcil présente la même épaisseur et s'étend sur une plus grande partie de la surface articulaire. Ce fait confirme la théorie: lorsque l'indication est correcte et le dosage de la varisation exact, l'ostéotomie d'adduction réduit fortement la pression articulaire et la distribue uniformément sur la surface portante de l'articulation.

Dans tous les cas, le résultat clinique est excellent et durable aussi bien en ce qui concerne la disparition de la douleur que la mobilité et la capacité fonctionnelle de la hanche.

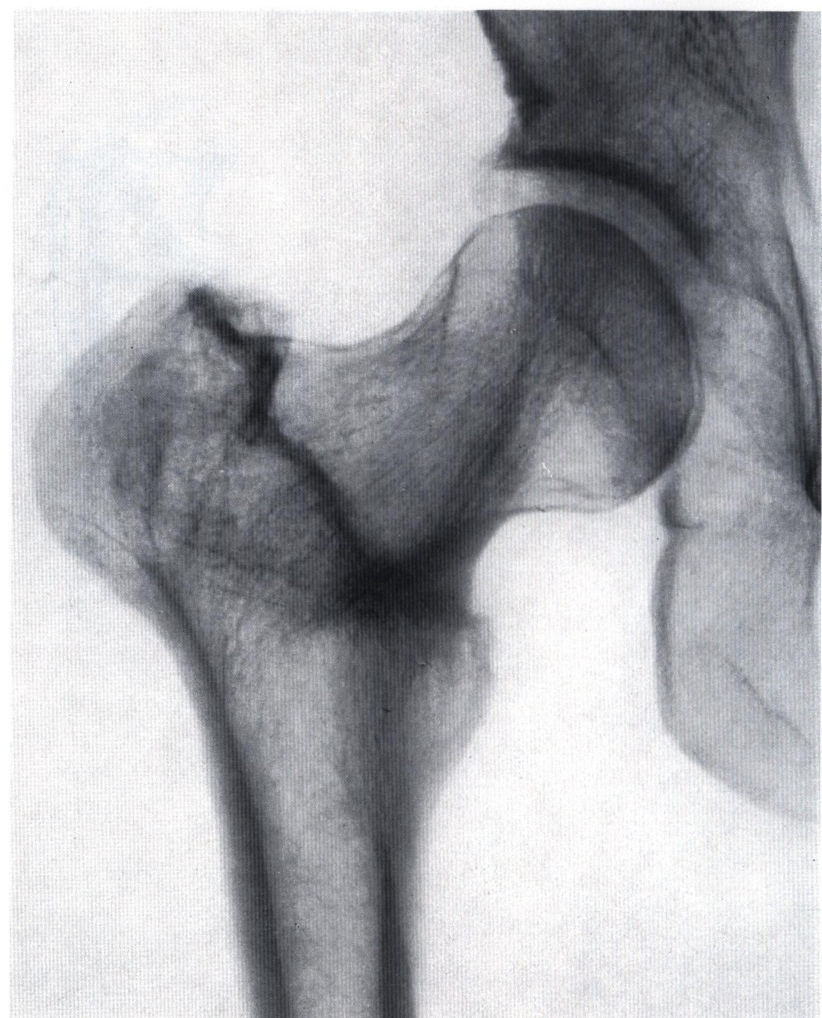
Non seulement l'ostéotomie varisante d'adduction réduit et répartit régulièrement la pression articulaire mais, particulièrement si elle est exécutée durant la croissance, elle exerce aussi un effet favorable sur le développement du cotyle.

Ceci provient de ce que la fermeture de l'angle cervico-diaphysaire agrandit la composante transversale (Q) de la force de compression résultante, composante qui pousse la tête fémorale dans le fond du cotyle. Elle diminue considérablement la composante longitudinale (L) qui tend à évaser le cotyle vers le haut. Ce phénomène décharge additionnellement le bord cotyloïdien.

Les dessins des trois premiers cas (fig. 196, 198, 200) indiquent l'effet de la varisation sur la grandeur des composantes transversale Q et longitudinale L de la force de compression résultante.



a 10.3.1958



b 31.7.1968 (*10 ans 4 mois après l'opération*)

Fig. 195a et b
S.N., ♀, née le 6.11.1936,
Opération le 18.3.1958 (à l'âge de 21 ans et 4 mois)

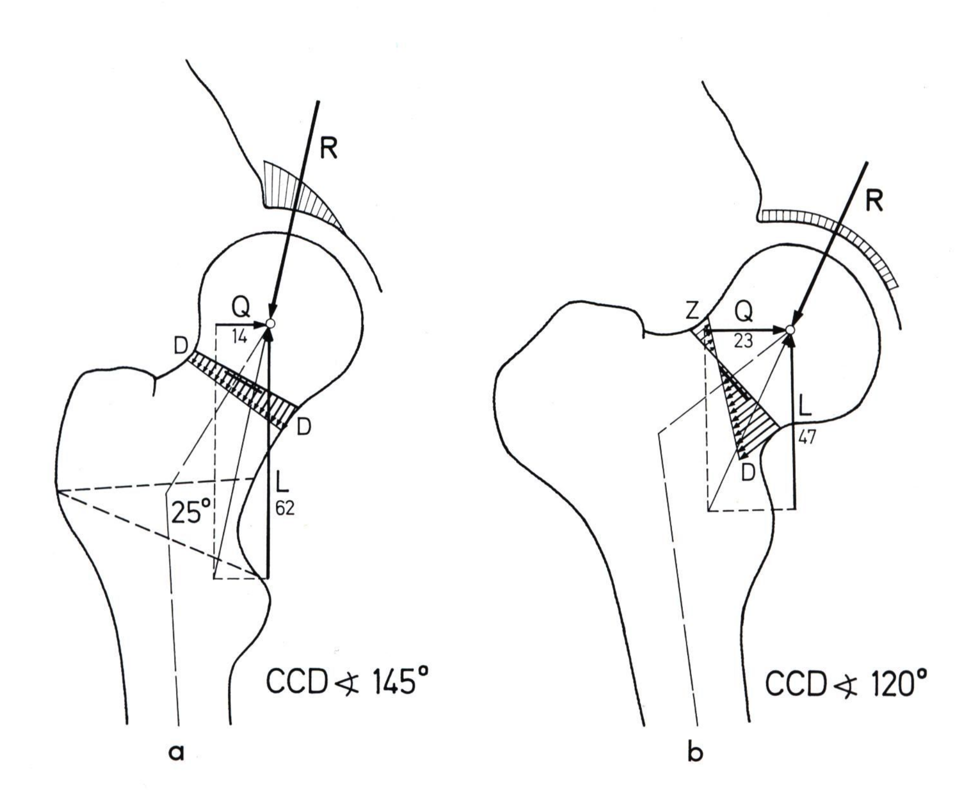
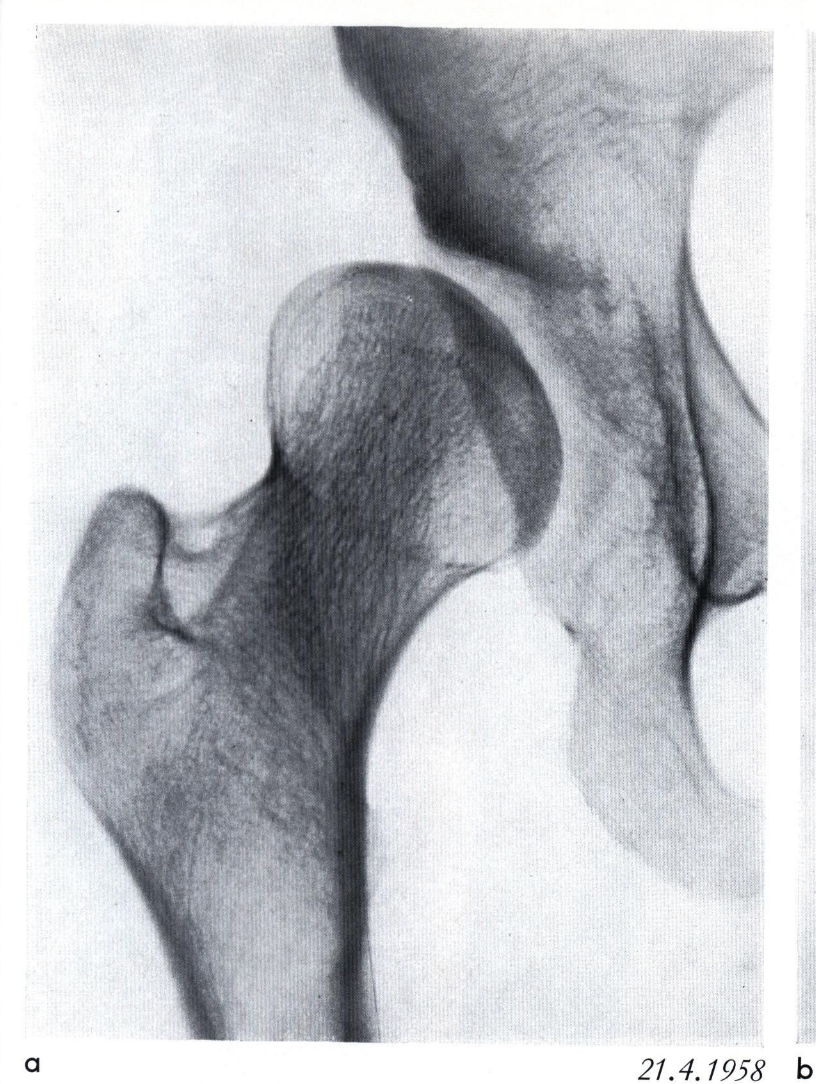
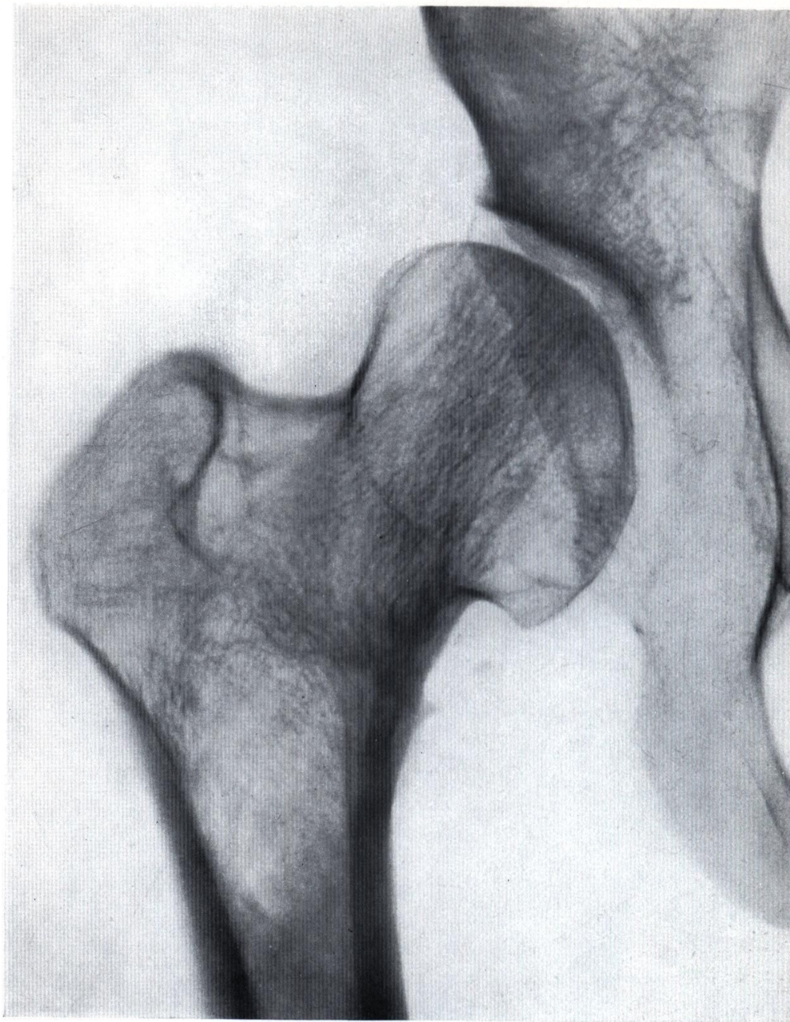


Fig. 196a et b



a 21.4.1958



b 19.4.1972 (13 ans 11 mois après l'opération)

Fig. 197a et b
T. R., ♀, née le 1.12.1941,
Opération le 6.5.1958 (à l'âge de 16 ans et 6 mois)

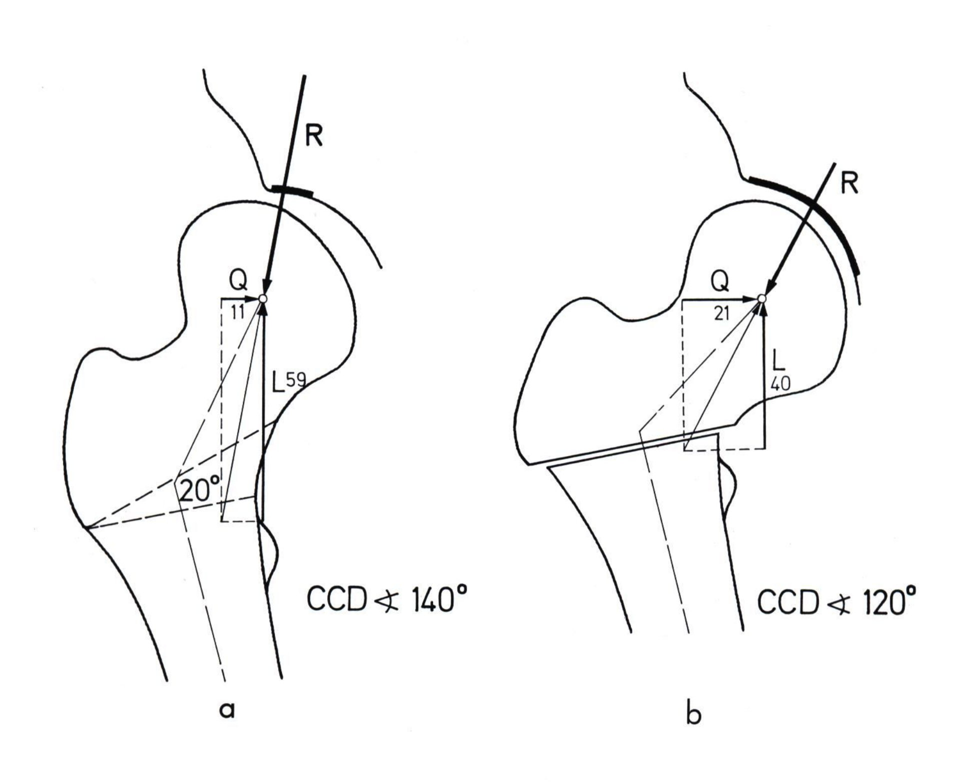
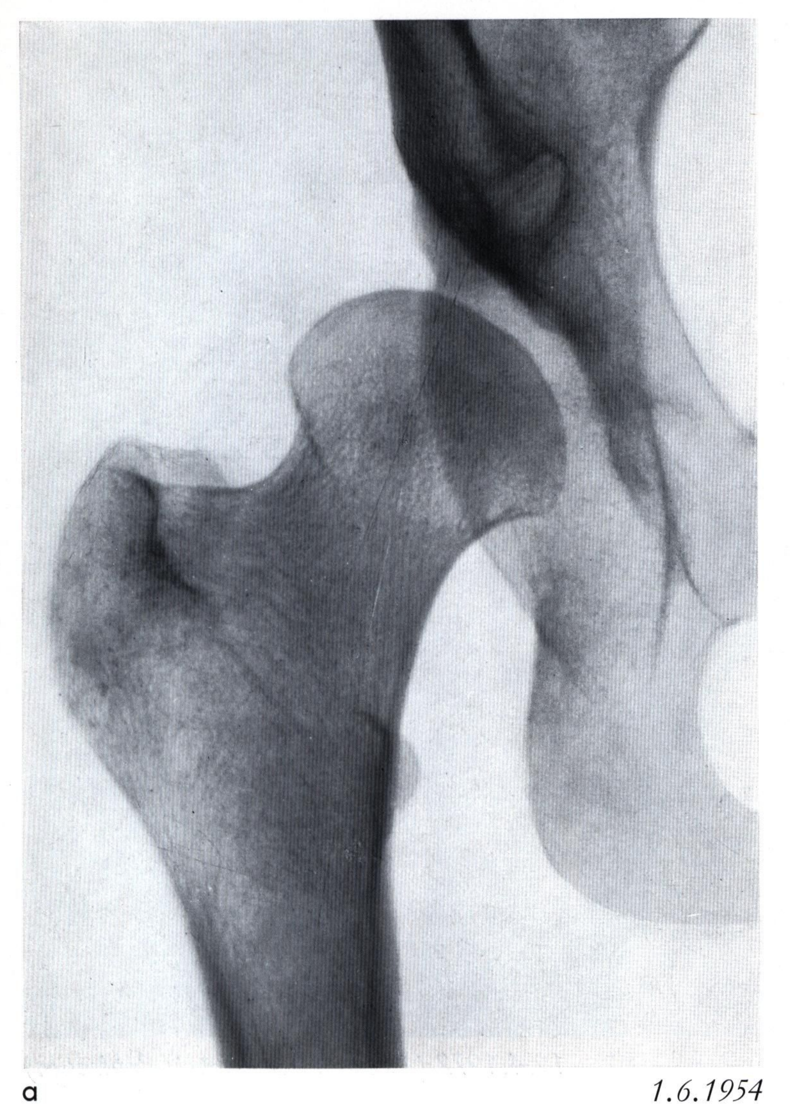
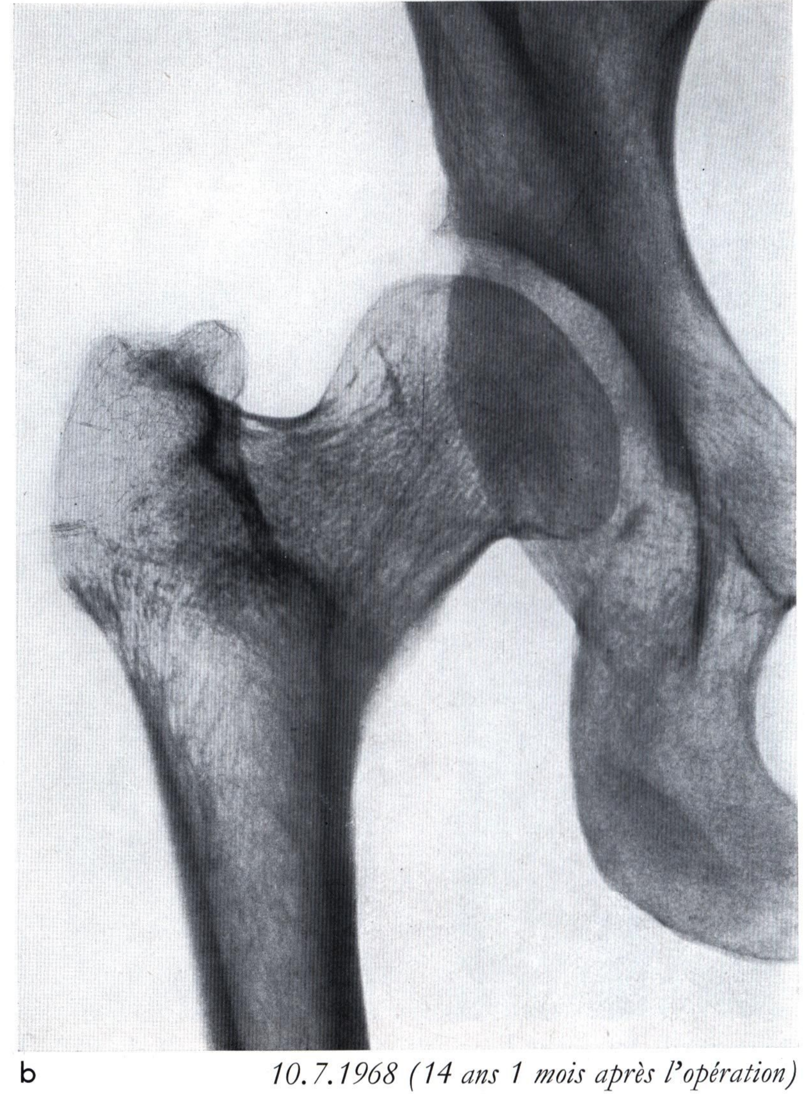


Fig. 198a et b

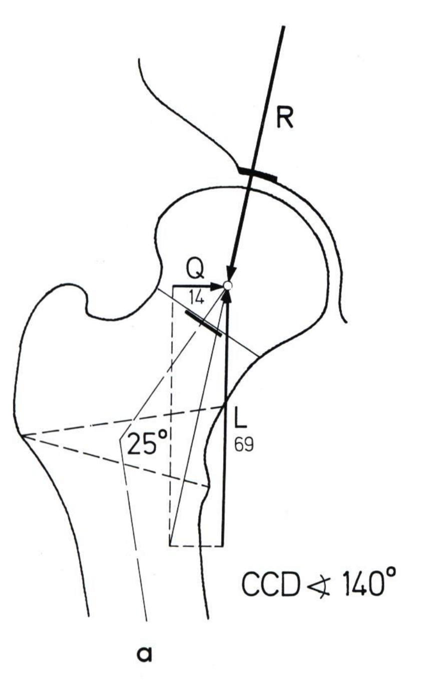


a 1.6.1954



b 10.7.1968 (14 ans 1 mois après l'opération)

Fig. 199a et b
U.P., ♀, née le 7.3.1937,
Opération le 3.6.1954 (à l'âge de 17 ans et 3 mois)





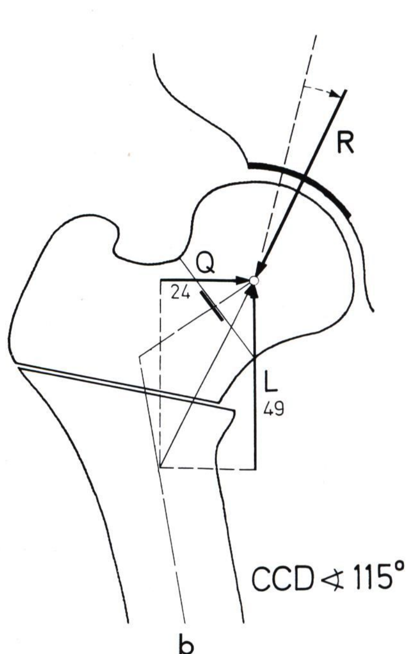


Fig. 200a et b



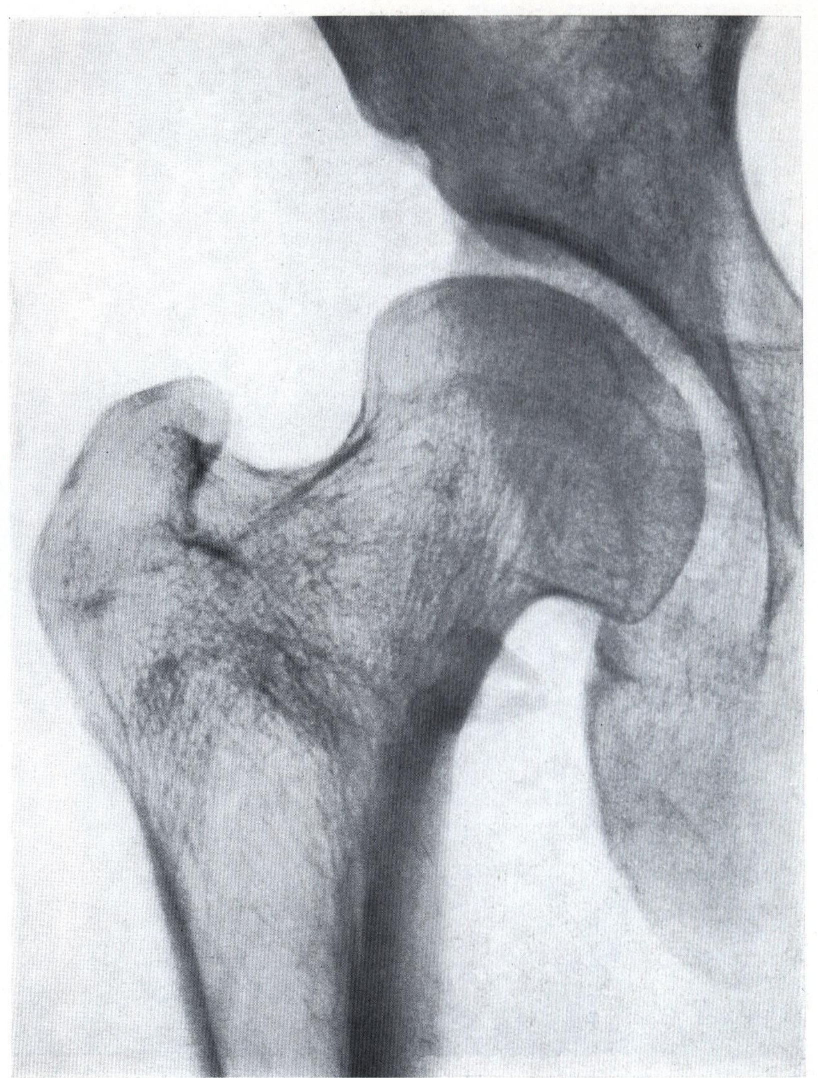


Fig. 201 a et b
G.N., ♀, née le 26.2.1939,
Opération le 30.1.1951 (à l'âge de 10 ans et 11 mois)

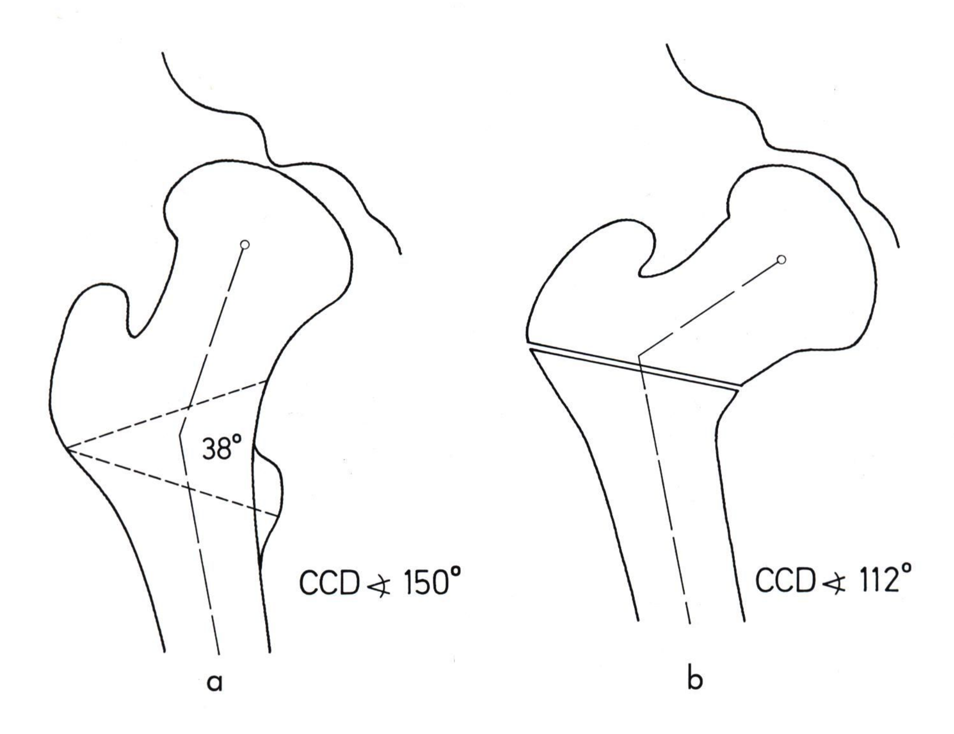


Fig. 202a et b

a *10.3.1952* b *25.3.1962 (10 ans après l'opération)*

Fig. 203a et b
N.H., ♀, née le 4.11.1939,
Opération le 21.3.1952 (à l'âge de 12 ans et 5 mois)

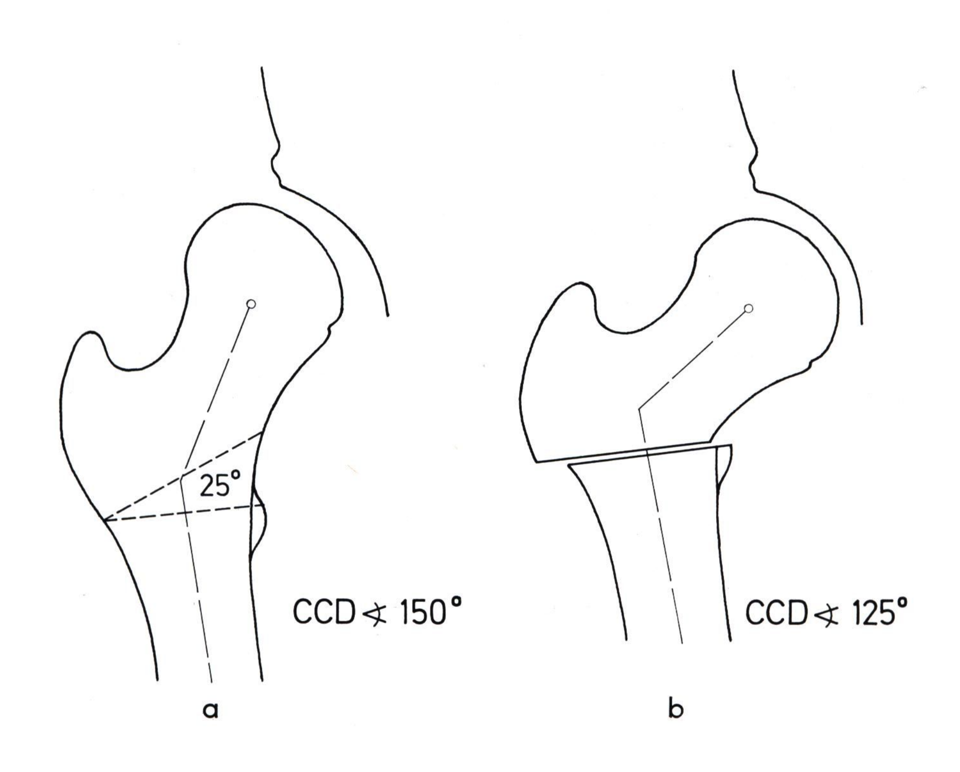
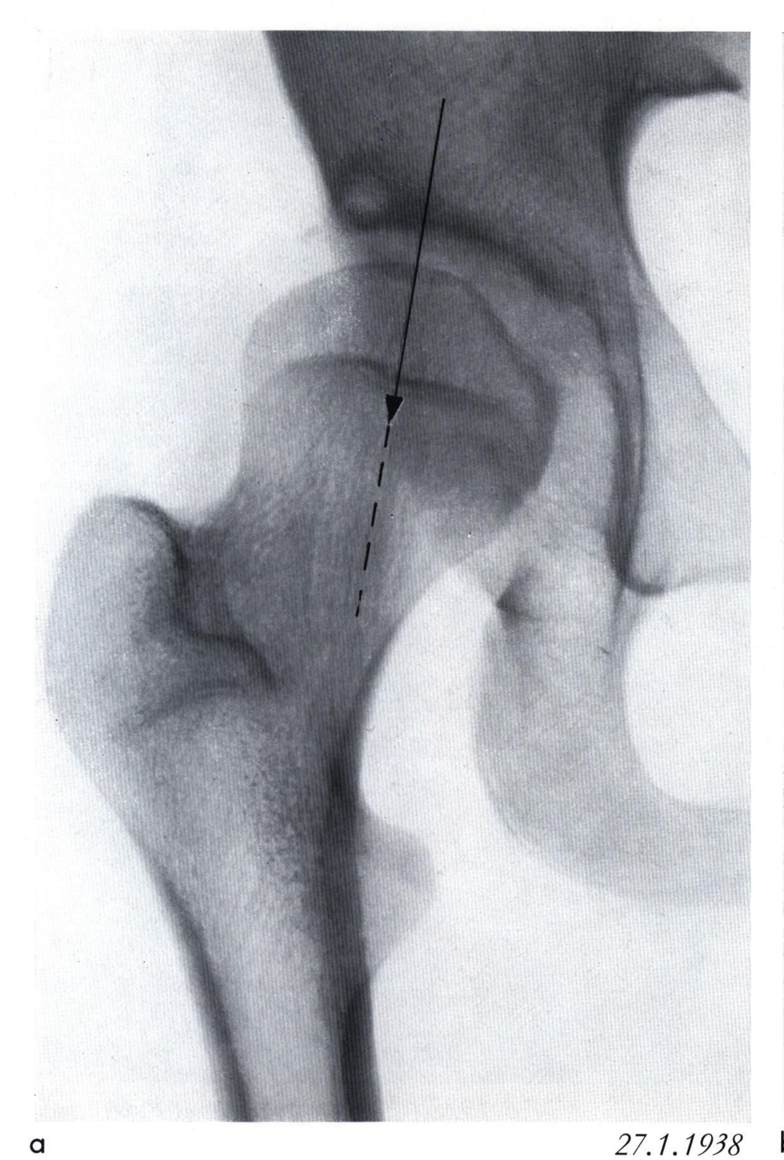
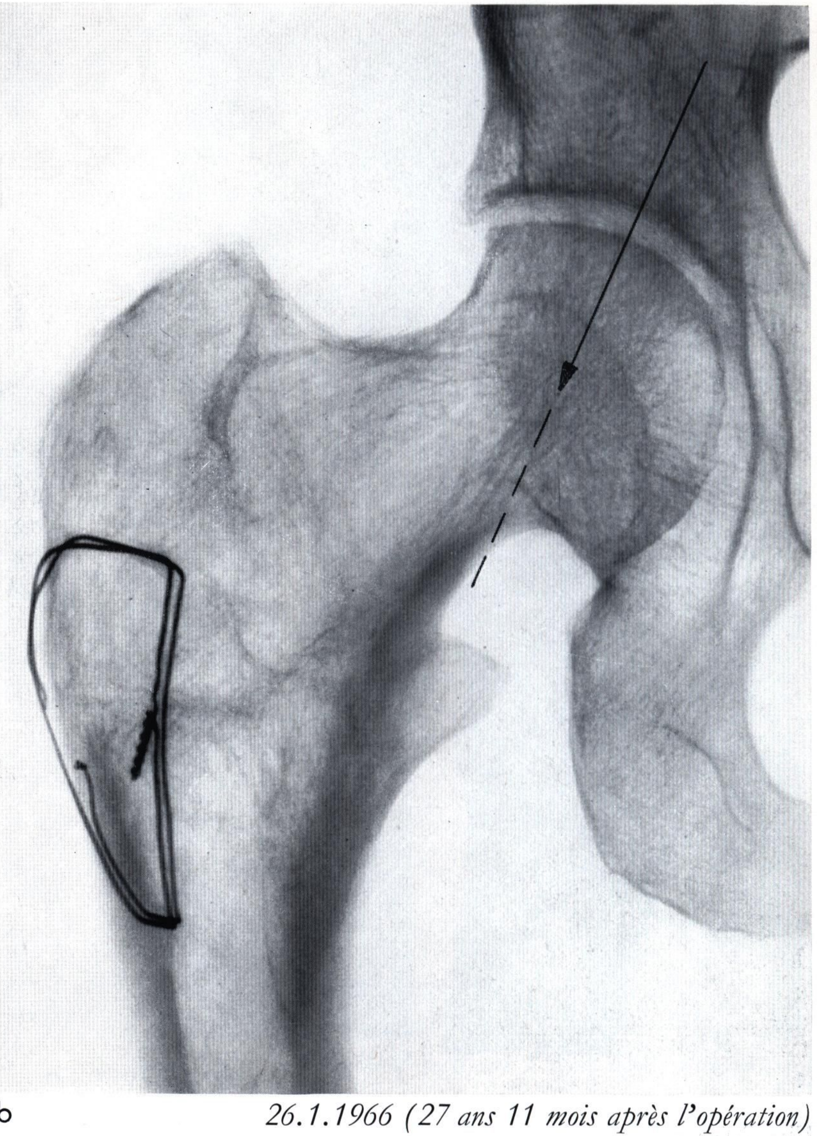


Fig. 204a et b



a 27.1.1938



b *26.1.1966 (27 ans 11 mois après l'opération)*

Fig. 205a et b
E.Sch., ♀, née le 4.1.1925,
Opération le 20.2.1938 (à l'âge de 13 ans et 1 mois)

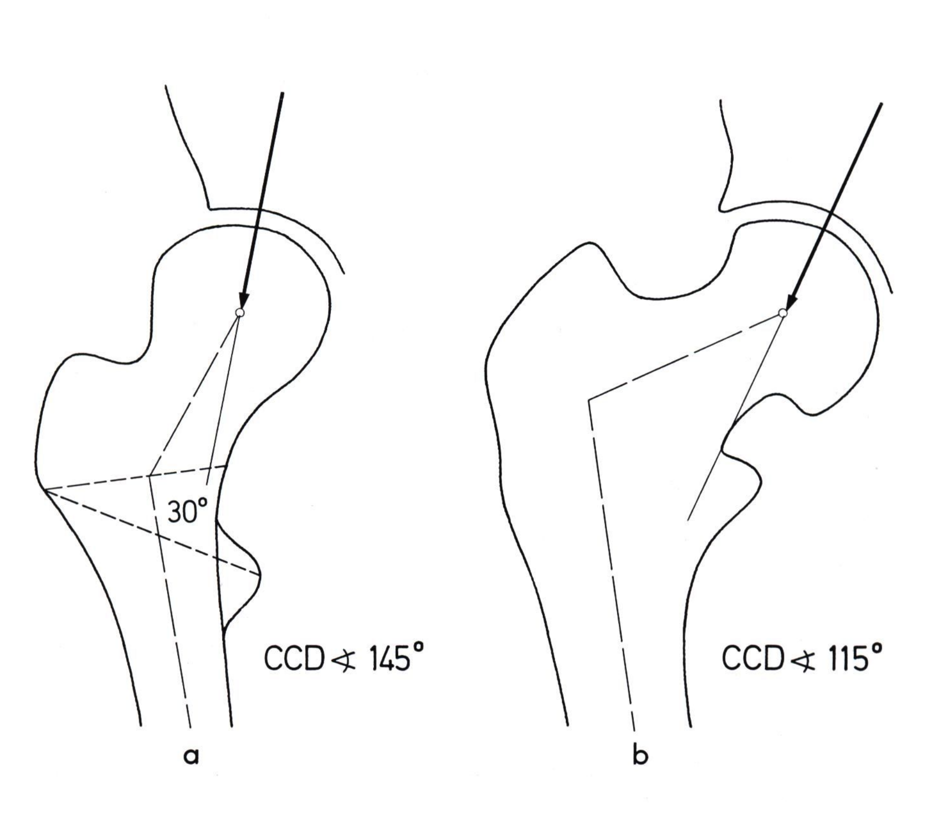
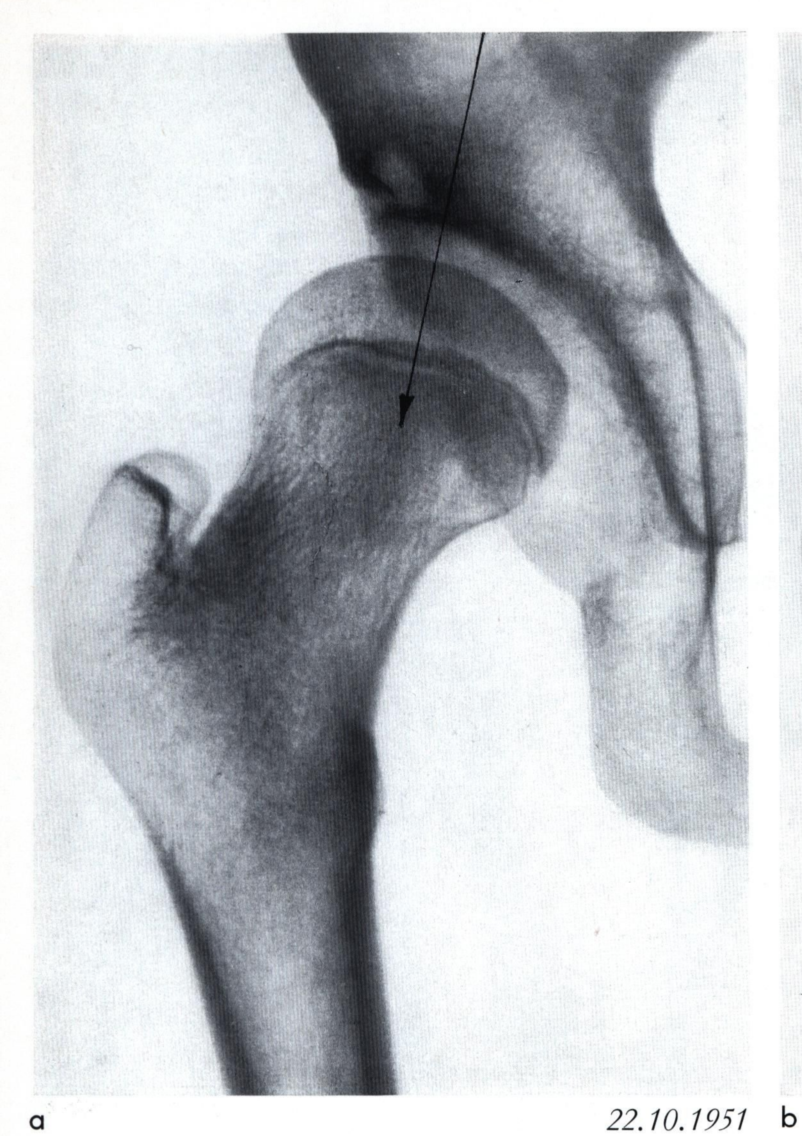
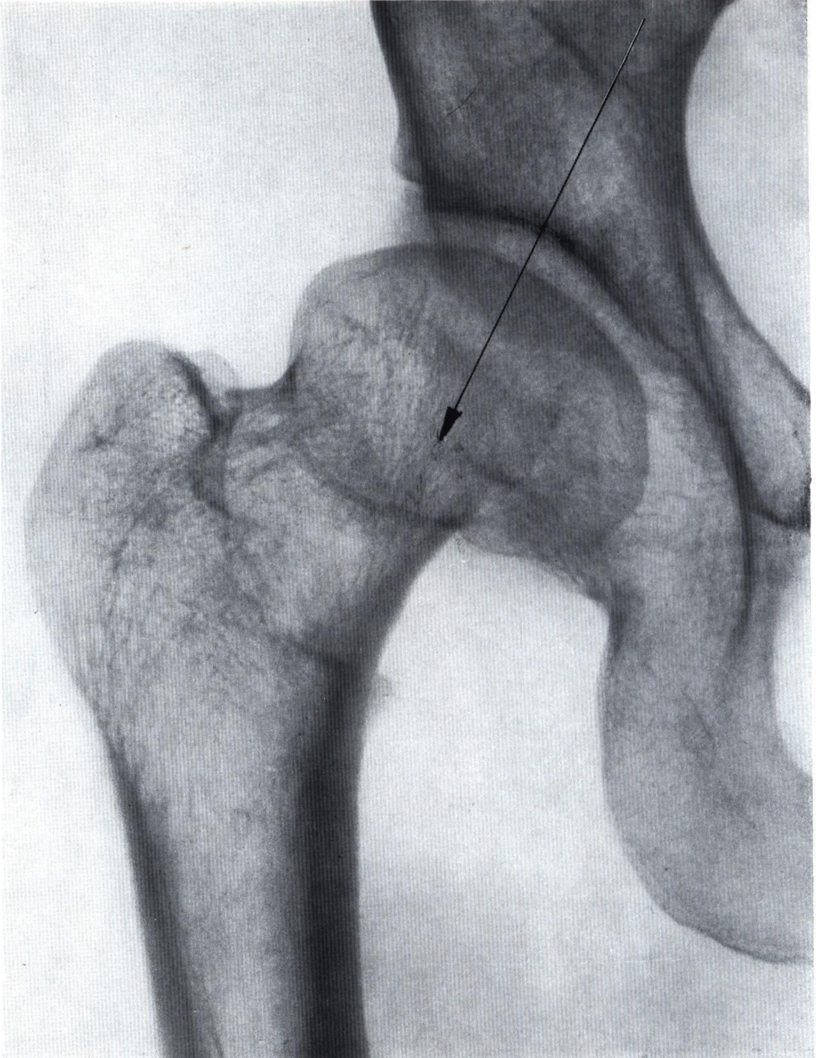


Fig. 206a et b



a 22.10.1951



b 21.6.1972 (20 ans 8 mois après l'opération)

Fig. 207a et b
B.W., ♀, née le 16.2.1937,
Opération le 25.10.1951 (à l'âge de 14 ans et 8 mois)



a *26.11.1942* b *3.5.1963 (20 ans 5 mois après l'opération)*

Fig. 208a et b
E.B., ♀, née le 17.1.1928,
Opération le 30.11.1942 (à l'âge de 14 ans et 10 mois)

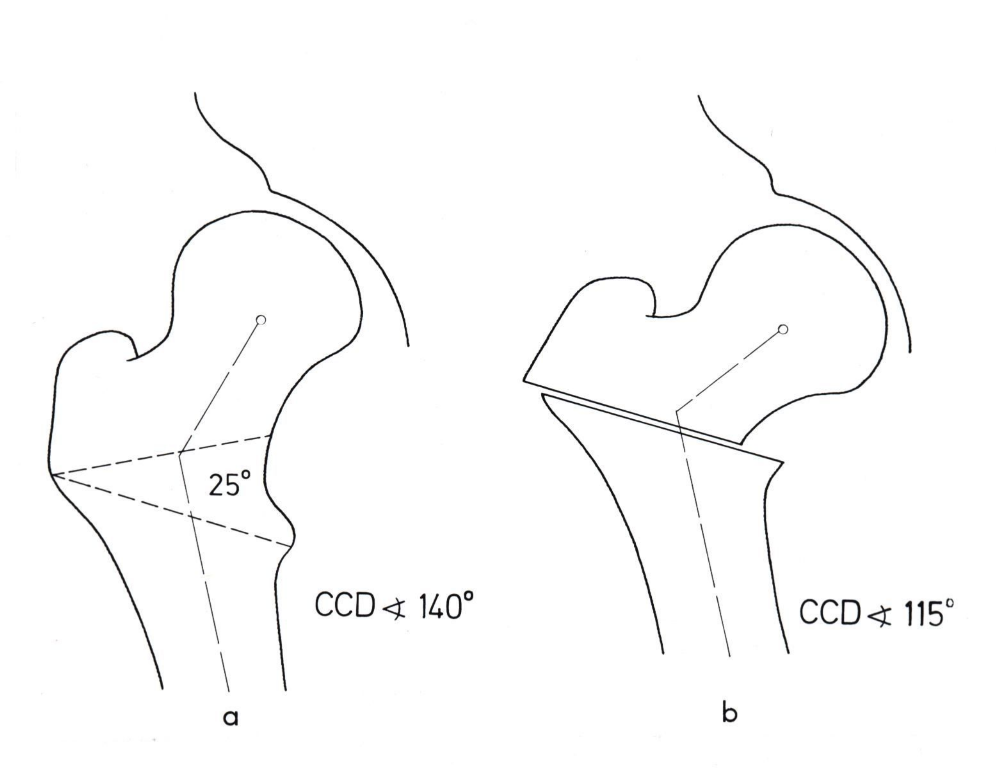
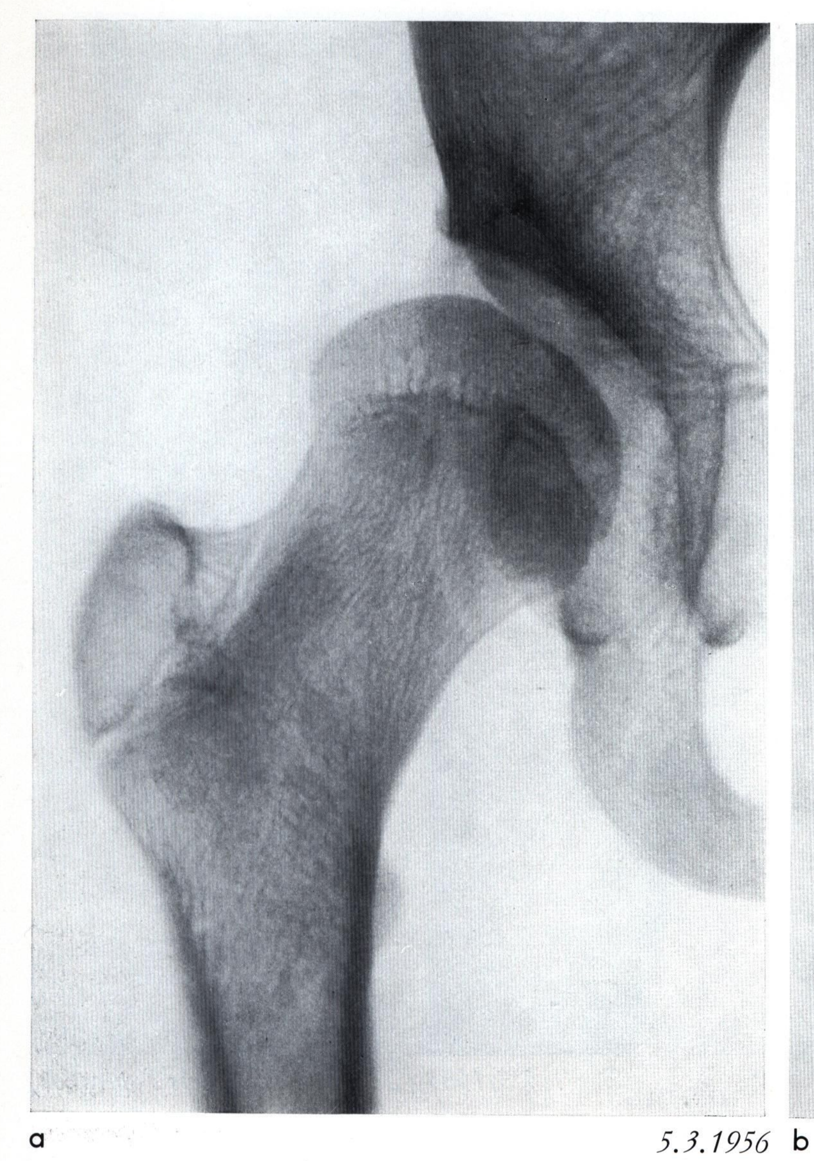
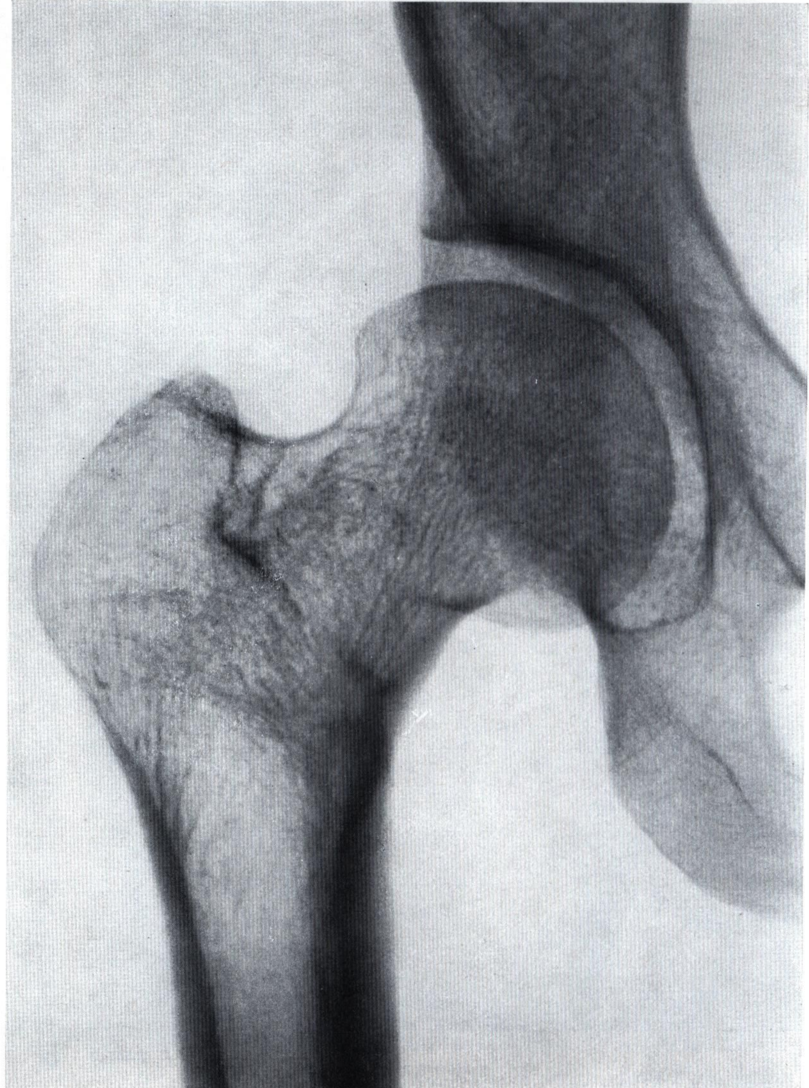


Fig. 209a et b



a *5.3.1956*

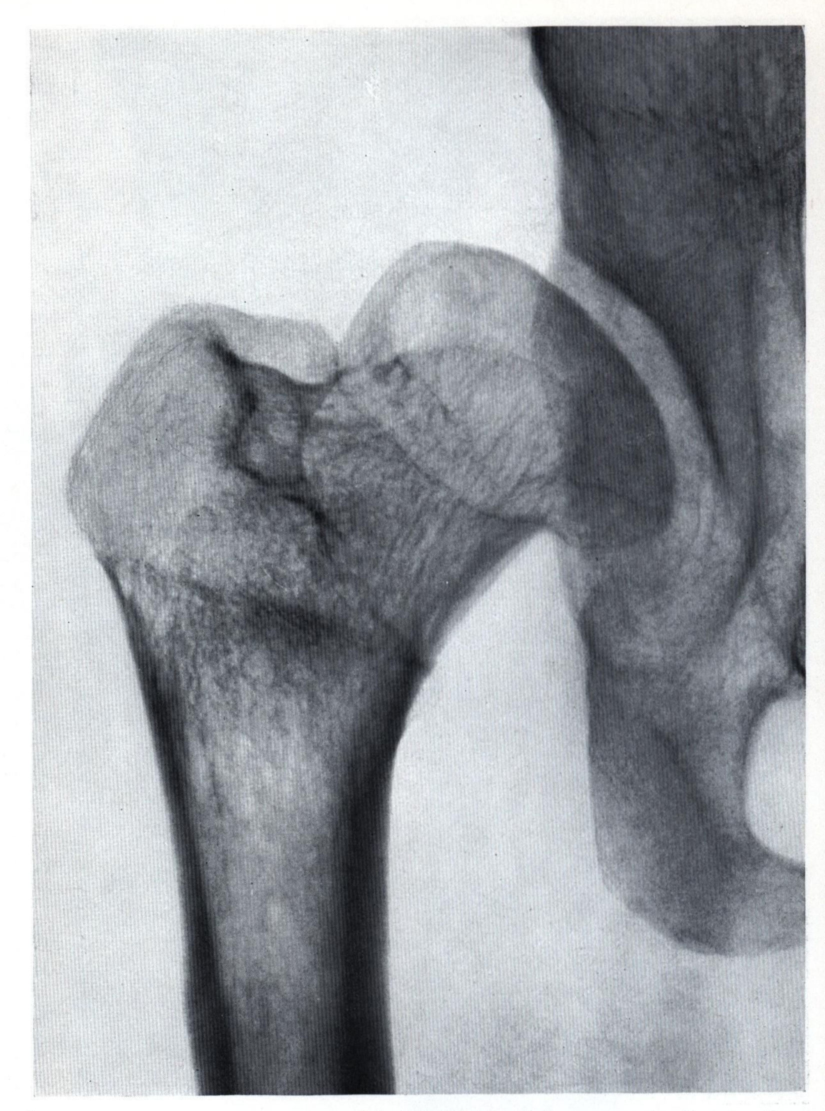


b *5.7.1966 (10 ans 4 mois après l'opération)*

Fig. 210a et b
G.P., ♀, née le 23.9.1943,
Opération le 6.3.1956 (à l'âge de 12 ans et 5 mois)

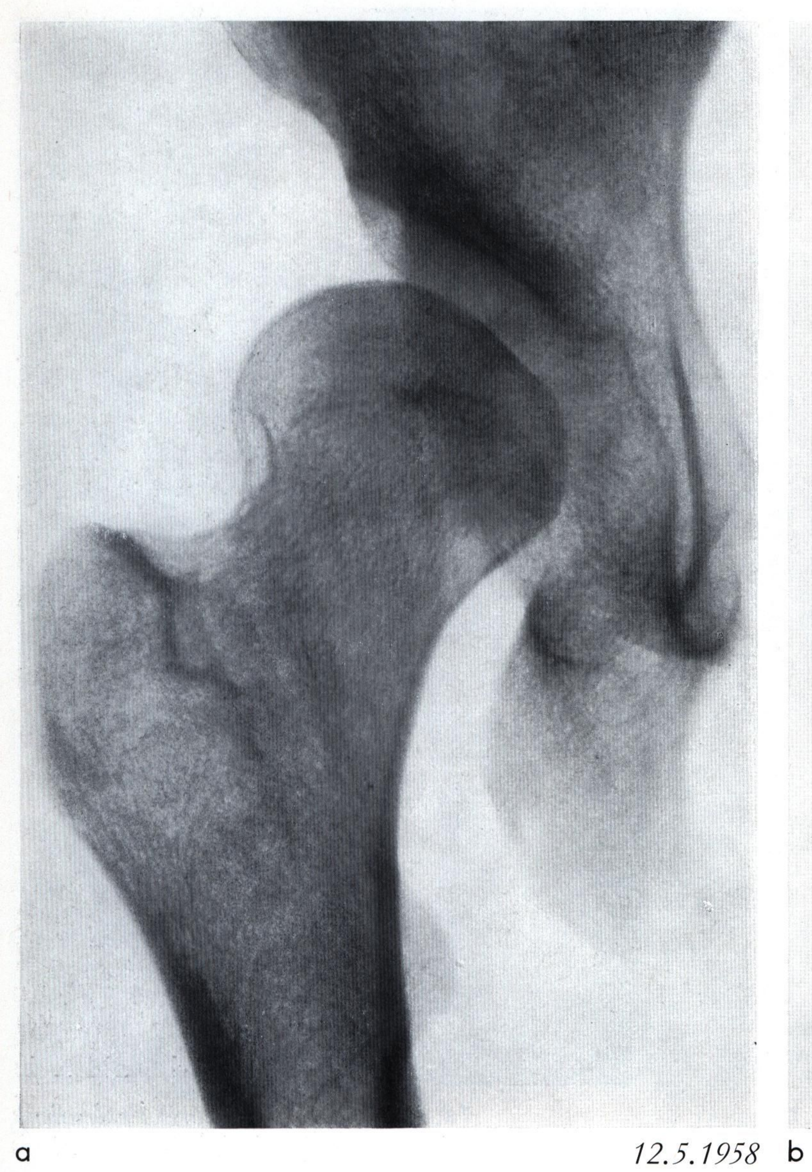


a *14.10.1950*

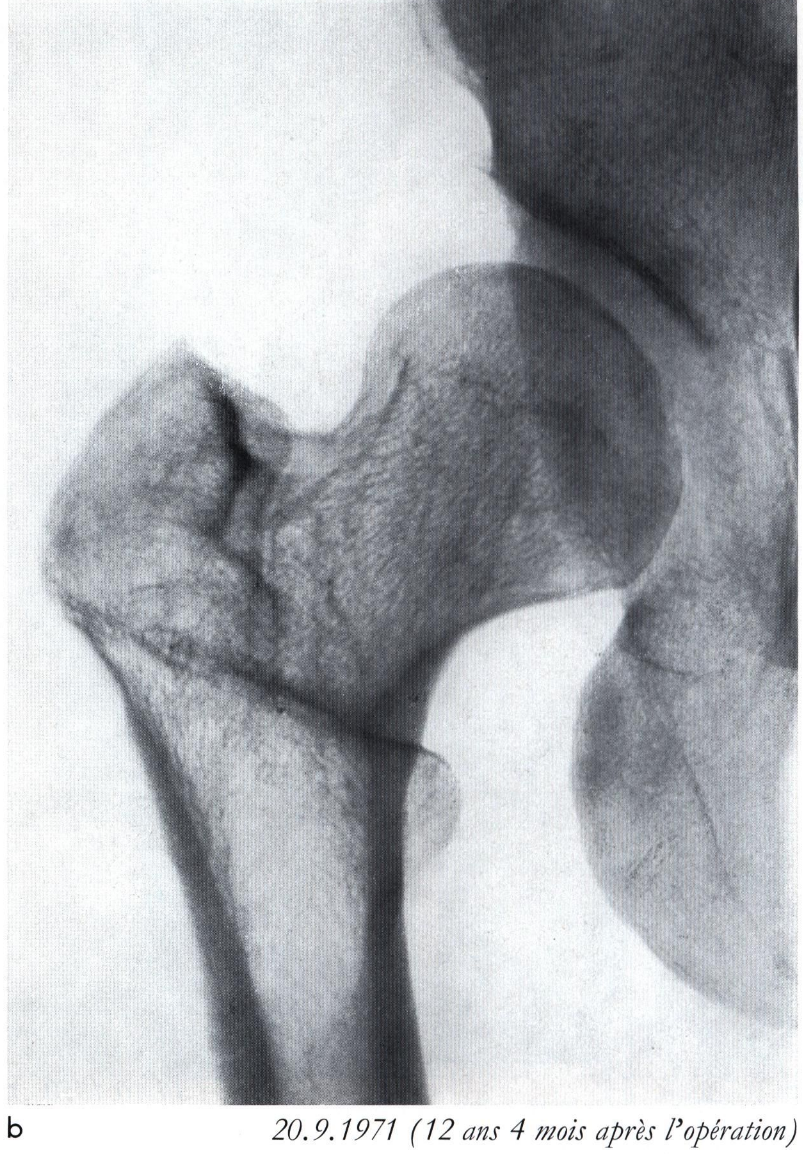


b *18.10.1965 (15 ans après l'opération)*

Fig. 211a et b
H.T., ♀, née le 17.3.1937,
Opération le 19.10.1950 (à l'âge de 13 ans et 7 mois)

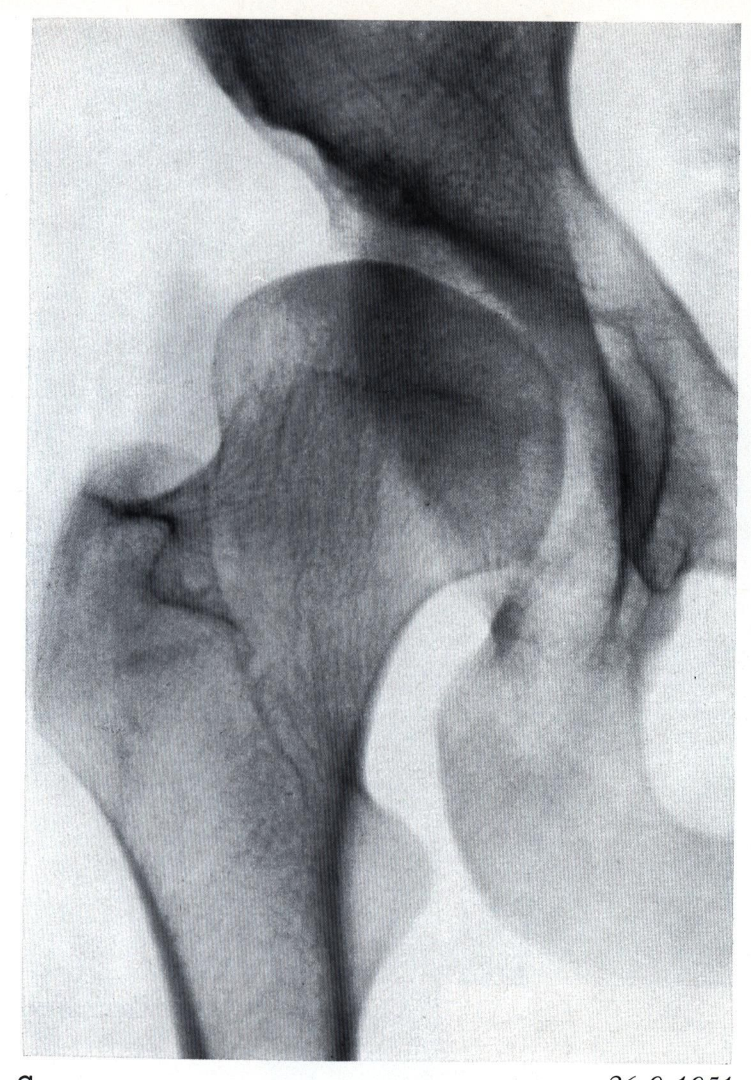


a *12.5.1958*

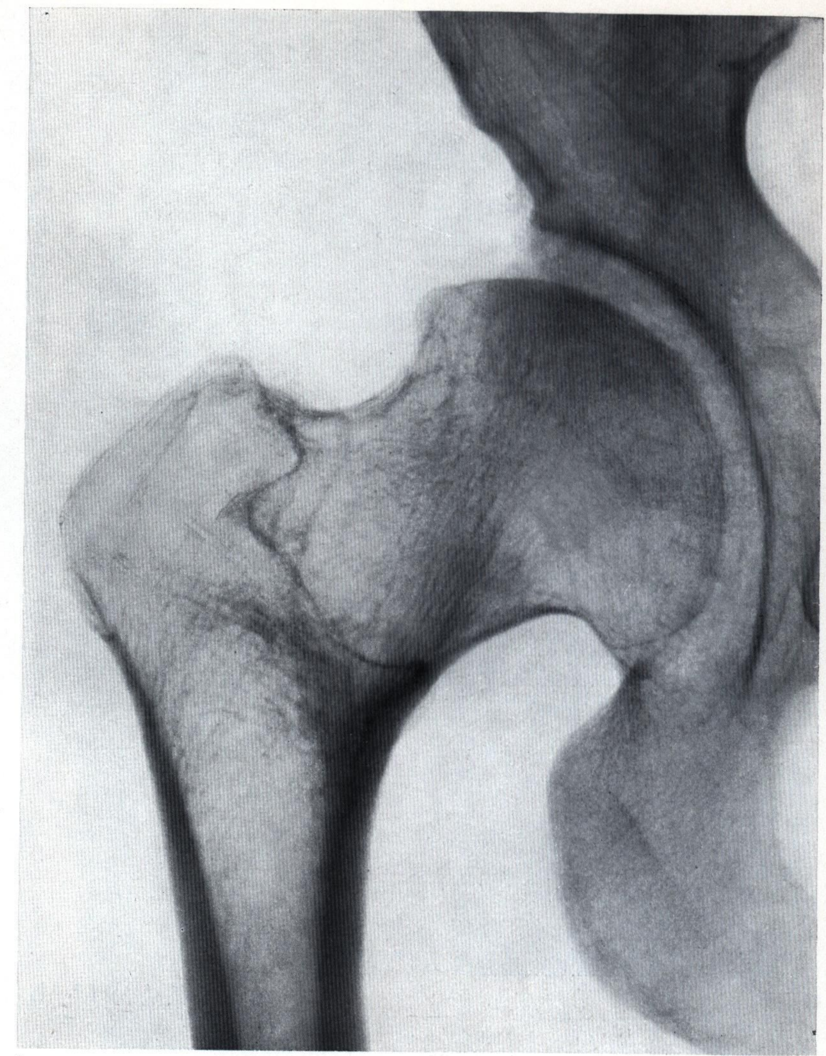


b *20.9.1971 (12 ans 4 mois après l'opération)*

Fig. 212a et b
S.St., ♀, née le 23.10.1942,
Opération le 4.6.1959 (à l'âge de 16 ans et 7 mois)

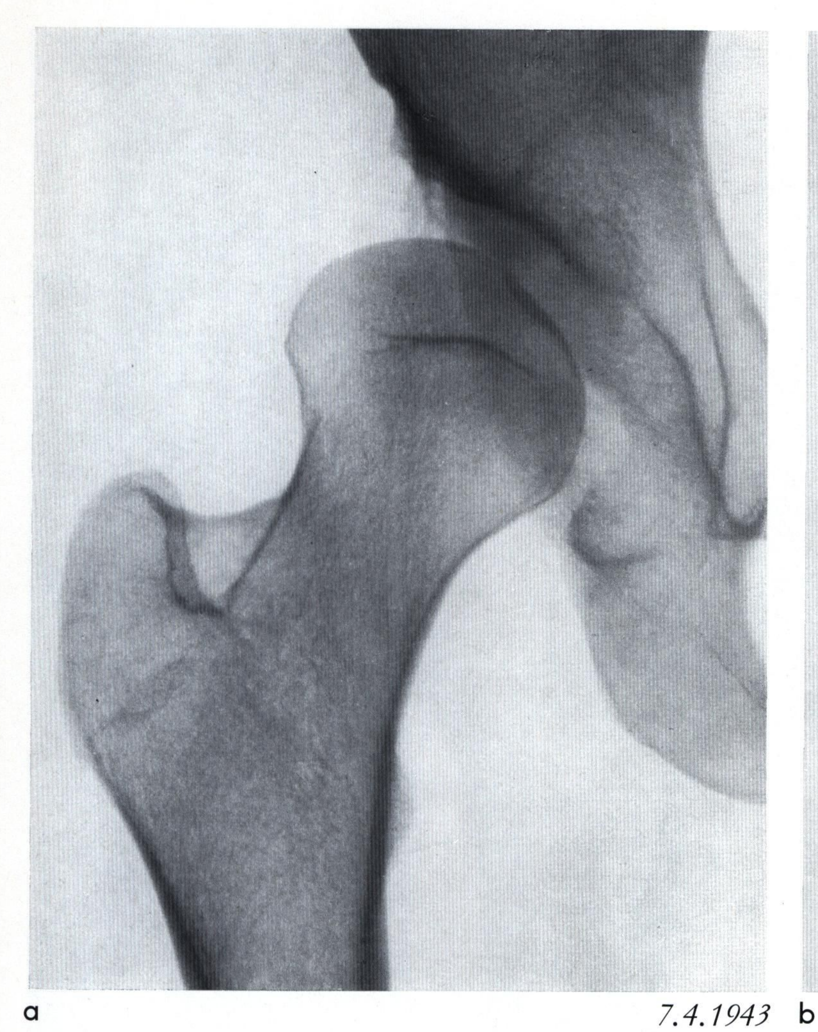


a 26.9.1951

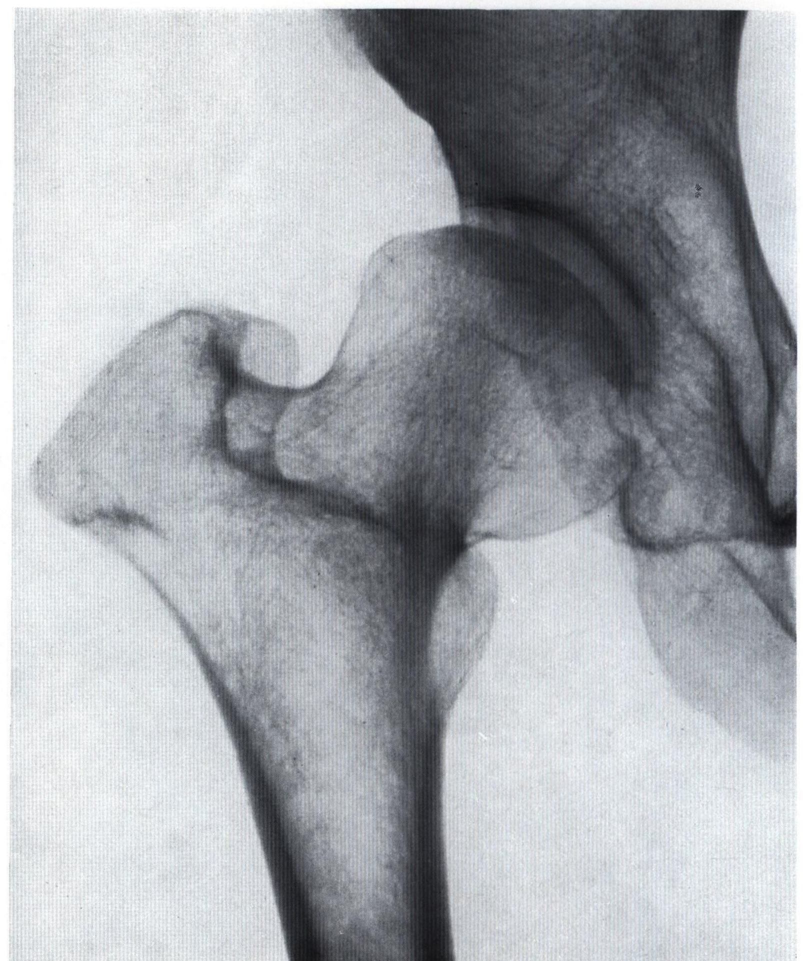


b *5.7.1965 (13 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 213a et b
H.K., ♂, né le 1.3.1934,
Opération le 27.9.1951 (à l'âge de 17 ans et 7 mois)



a 7.4.1943



b 5.4.1963 (20 ans après l'opération)

Fig. 214a et b
U.L., ♀, née le 21.1.1922,
Opération le 9.4.1943 (à l'âge de 21 ans et 3 mois)

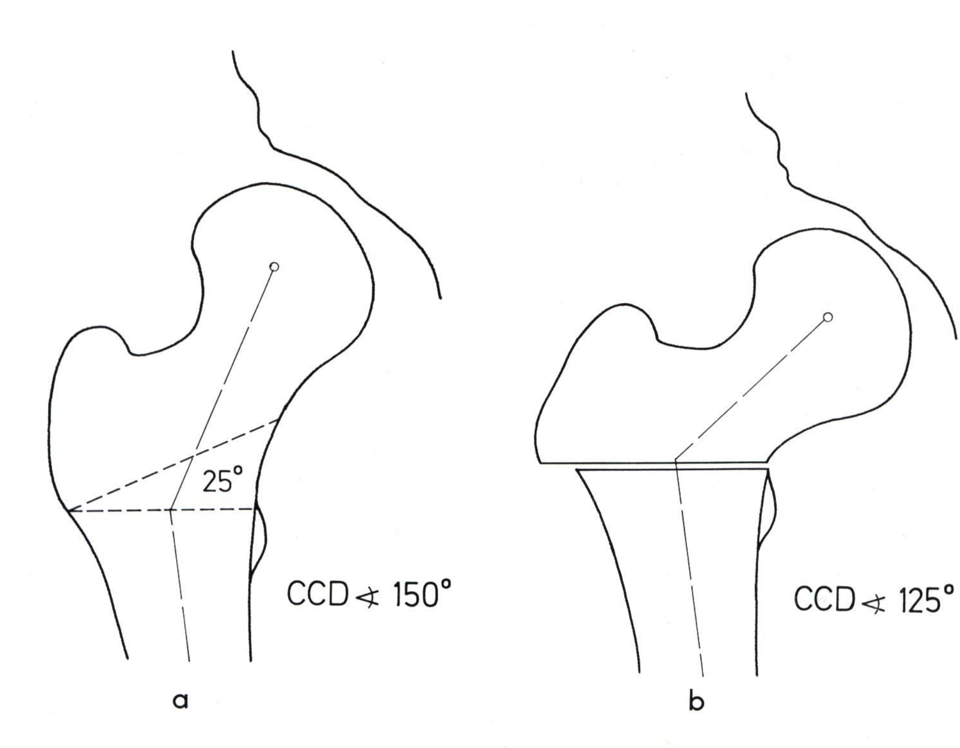
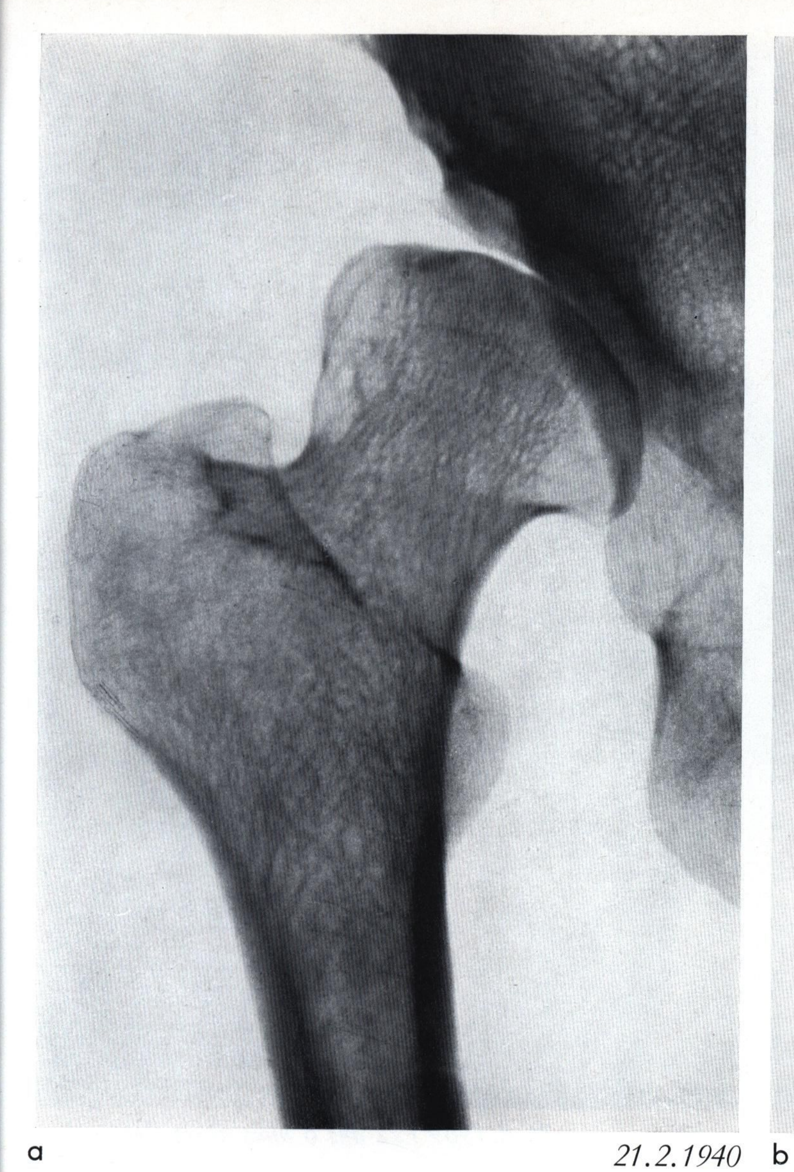
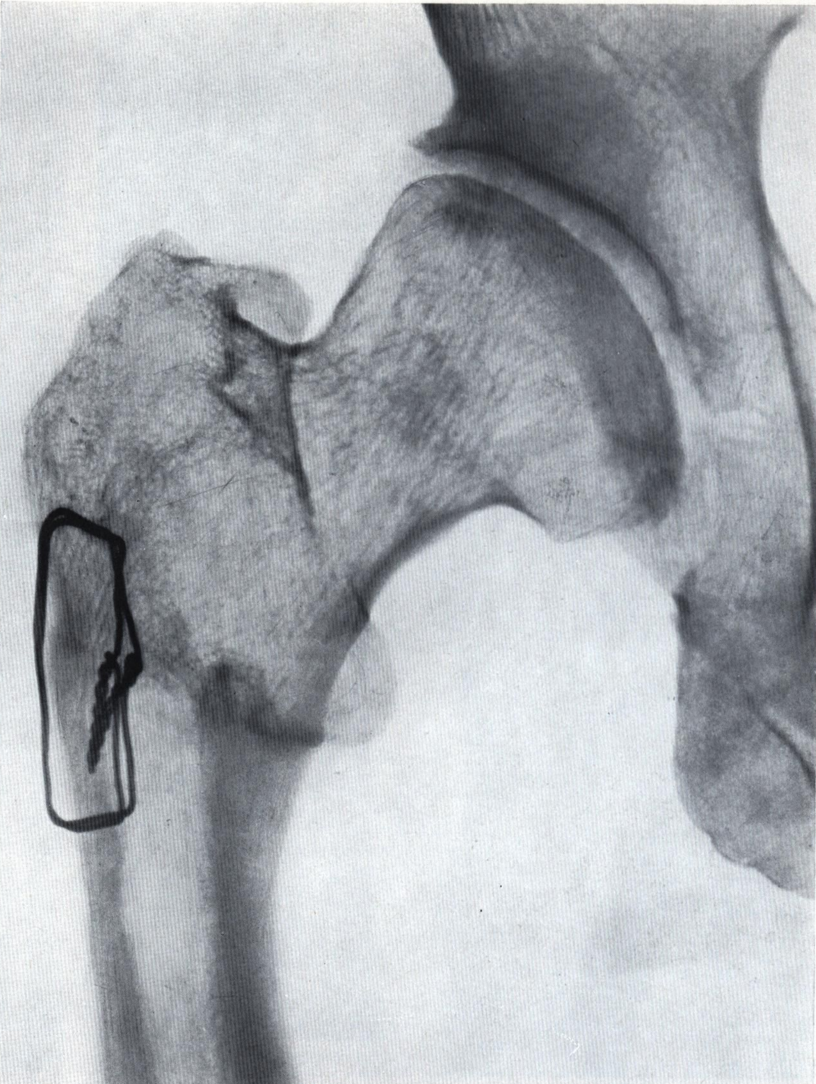


Fig. 215a et b



a *21.2.1940*



b *23.11.1960 (20 ans 8 mois après l'opération)*

Fig. 216a et b
H.M., ♂, né le 12.12.1912,
Opération le 29.3.1940 (à l'âge de 27 ans et 4 mois)

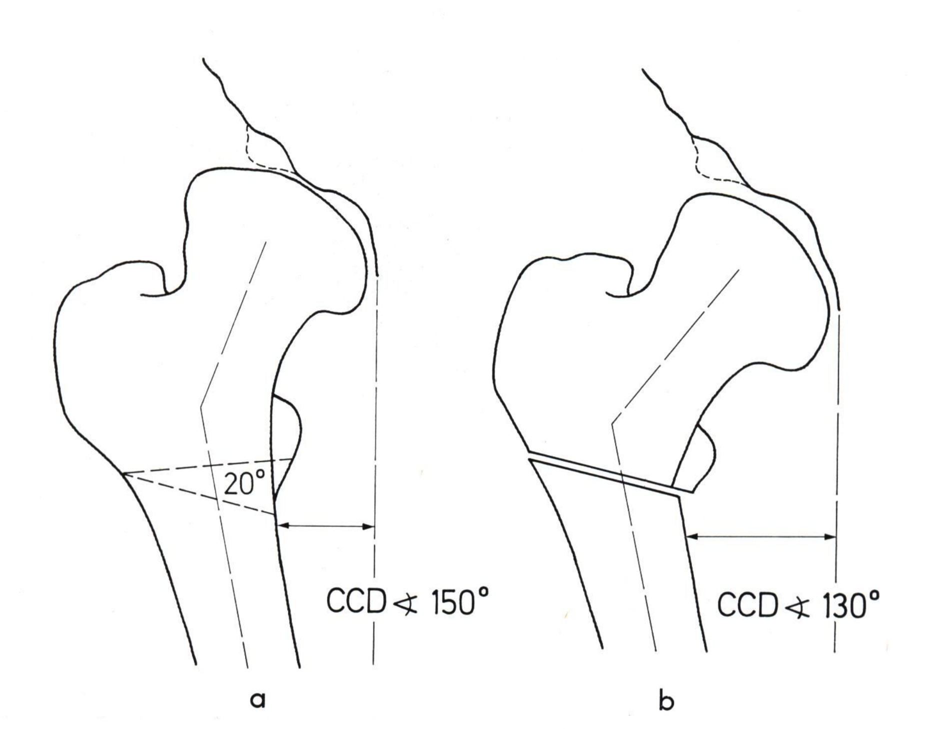
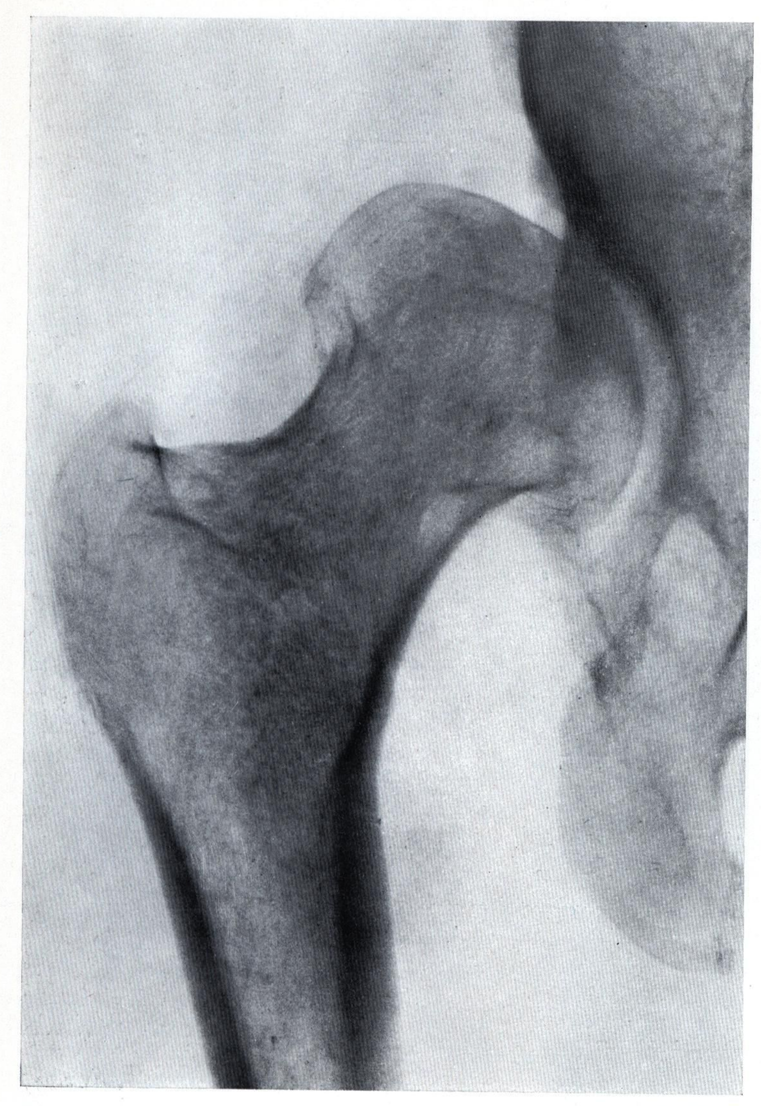
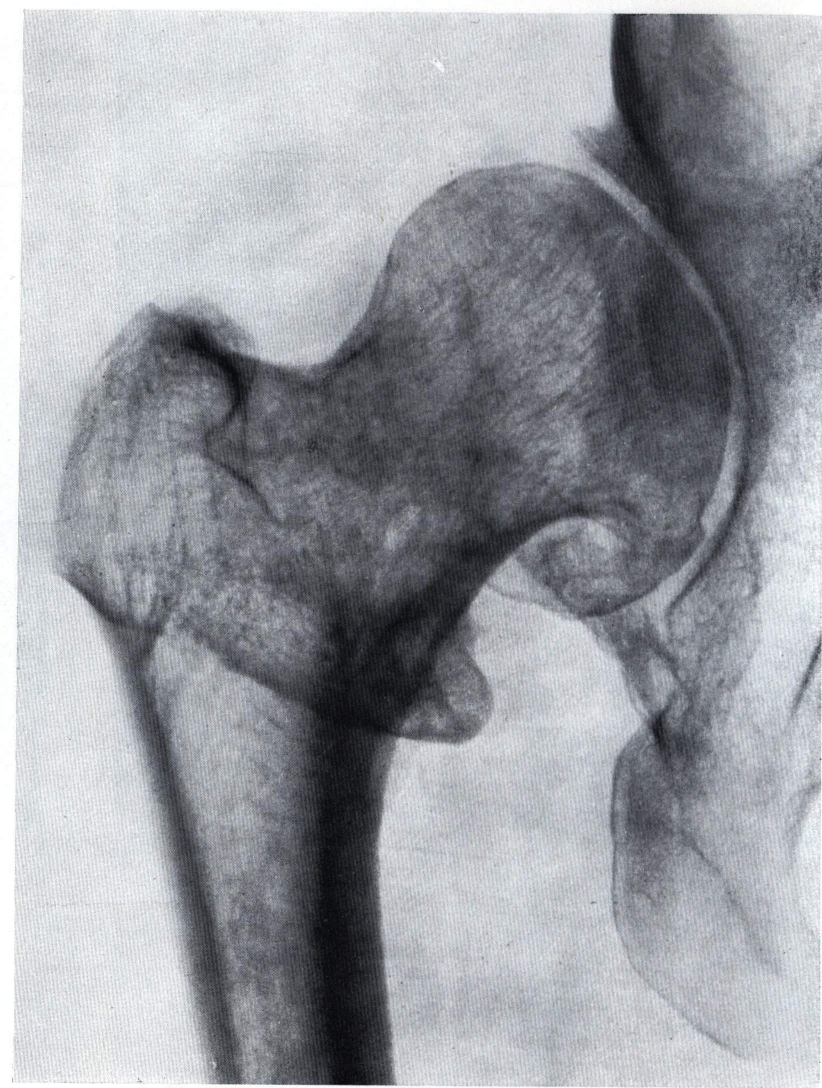


Fig. 217a et b

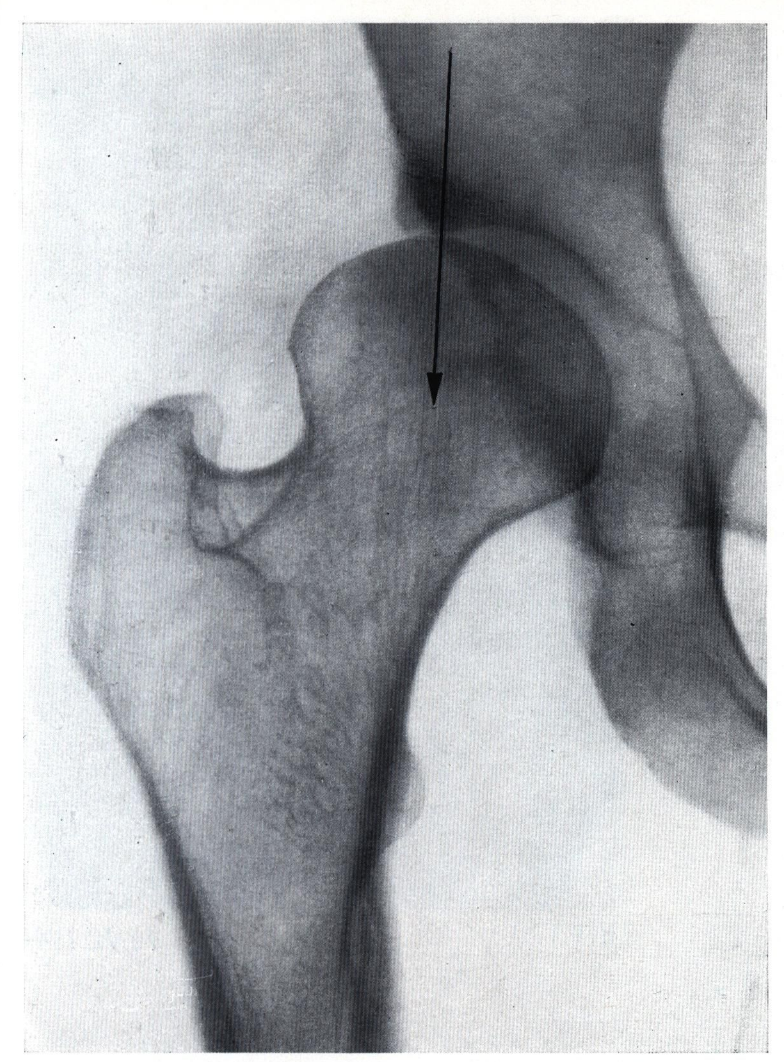


a *15.2.1947*

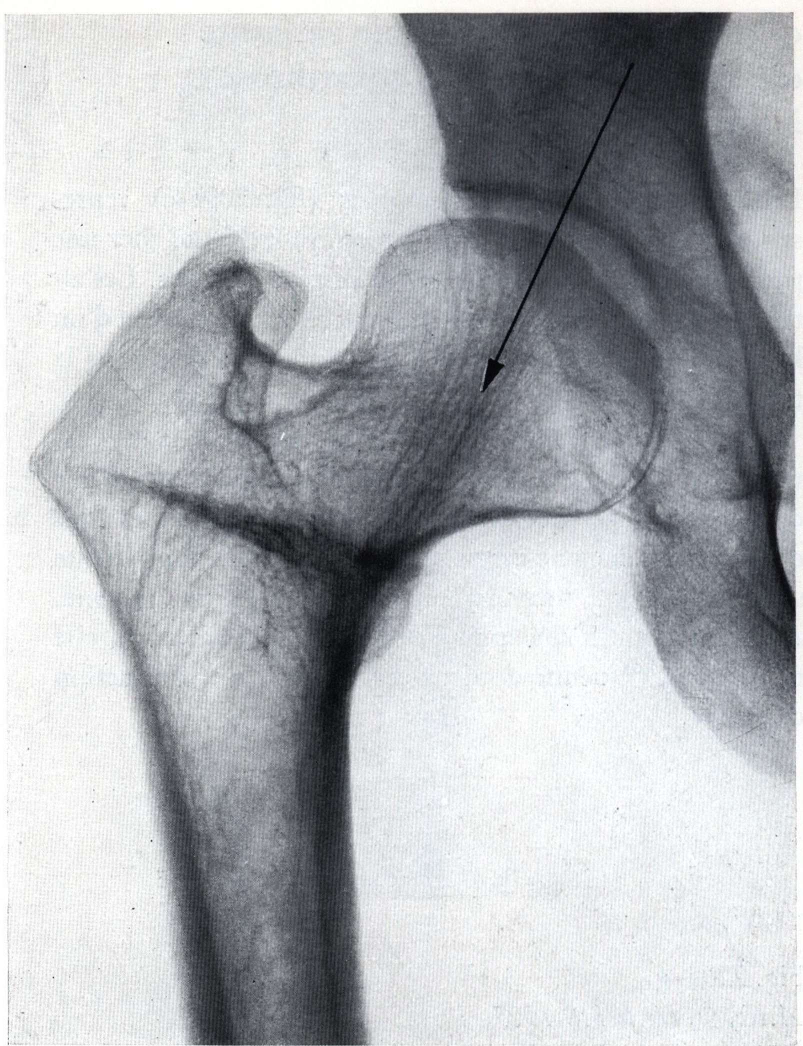


b *26.8.1969 (22 ans 6 mois après l'opération)*

Fig. 218a et b
G.Sch., ♀, née le 1.2.1922,
Opération le 11.3.1947 (à l'âge de 25 ans et 1 mois)



a *31.10.1951*



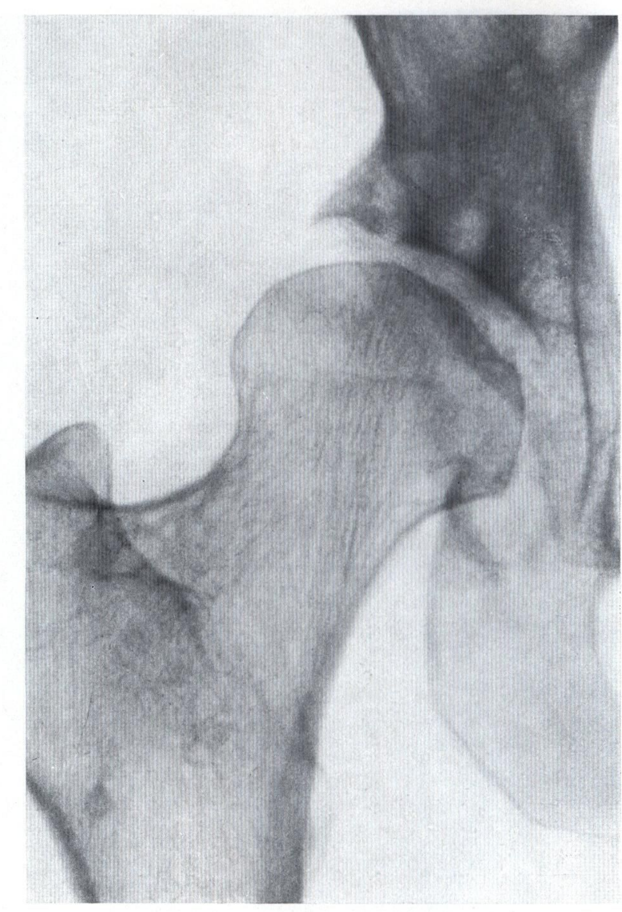
b *20.1.1962 (10 ans 2 mois après l'opération)*

Fig. 219a et b
S.K., ♀, née le 28.9.1907,
Opération le 6.11.1951 (à l'âge de 44 ans et 1 mois)

d) Résultats de l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) dans la coxarthrose à un stade avancé

Les trois premières radiographies (fig. 200a–c) représentent l'évolution de la coxarthrose ayant débuté chez une patiente de 43 ans et suivie pendant plus de 9 ans. Les altérations dégénératives prédominent avec creusement d'un kyste volumineux et perte de substance au sommet de la tête fémorale.

Les clichés suivants (fig. 220d–g) montrent la régénération de l'articulation et l'aspect 11 ans après l'ostéotomie d'adduction, exécutée en 1957 chez la patiente alors âgée de 52 ans. La hanche est normalement mobile. La patiente s'occupe de son ménage sans aucune aide permanente. Actuellement, 15 ans après l'ostéotomie d'adduction, elle ne se plaint d'aucune douleur et sa hanche a une fonction complète.



a *16.12.1948*

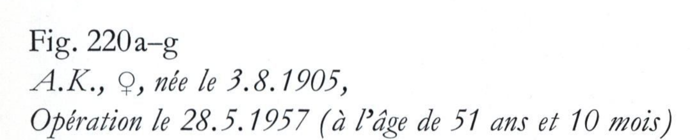
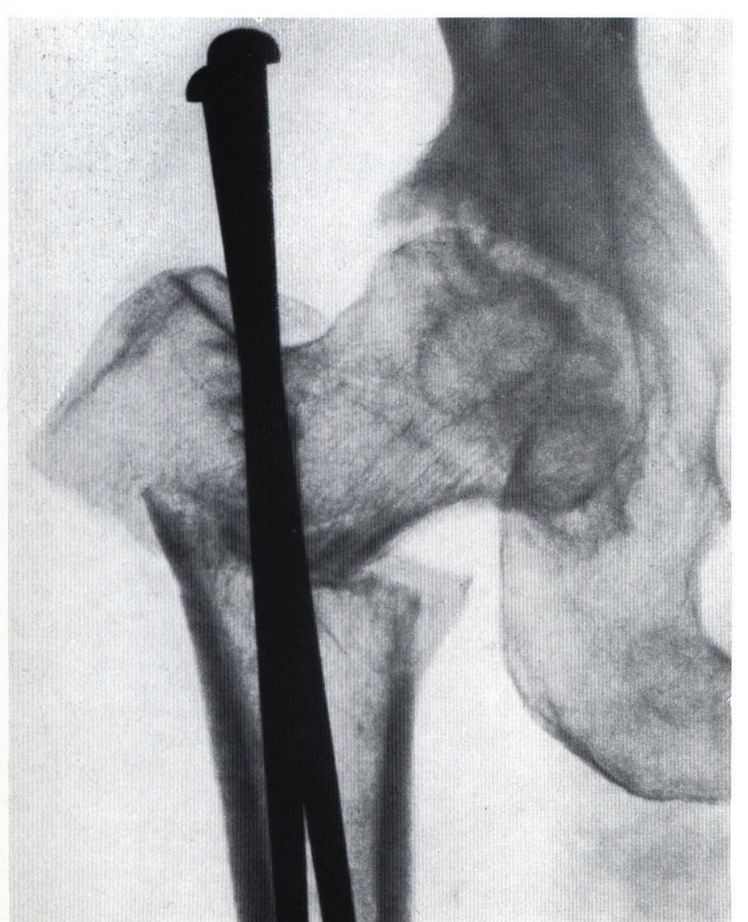
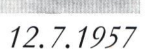
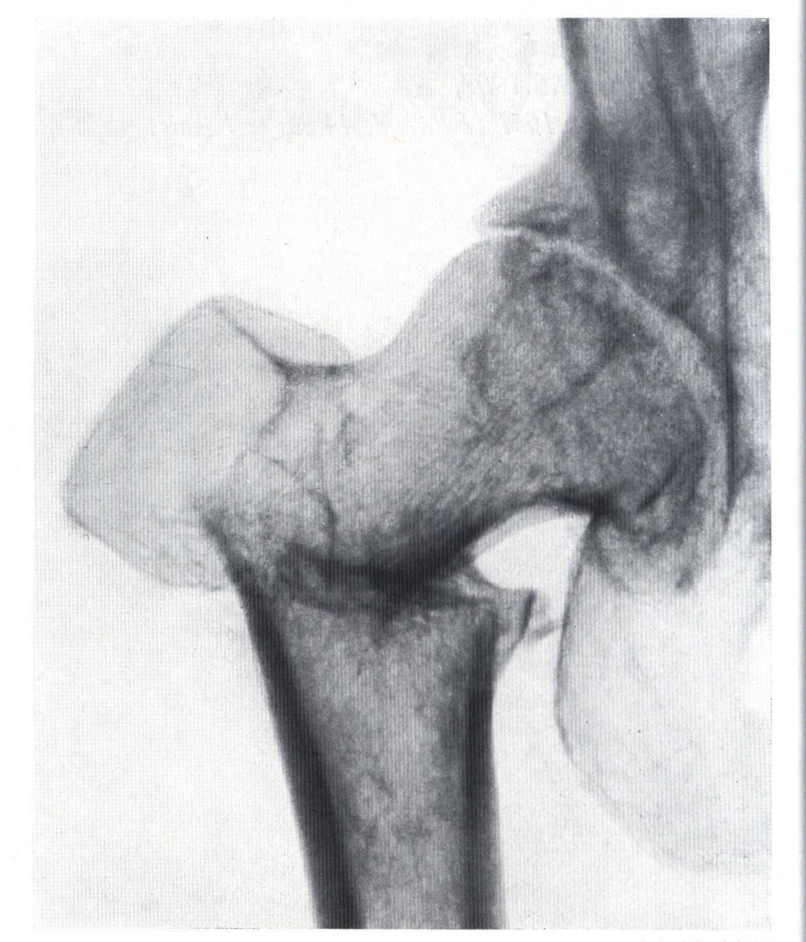


Fig. 220a–g
A.K., ♀, née le 3.8.1905,
Opération le 28.5.1957 (à l'âge de 51 ans et 10 mois)

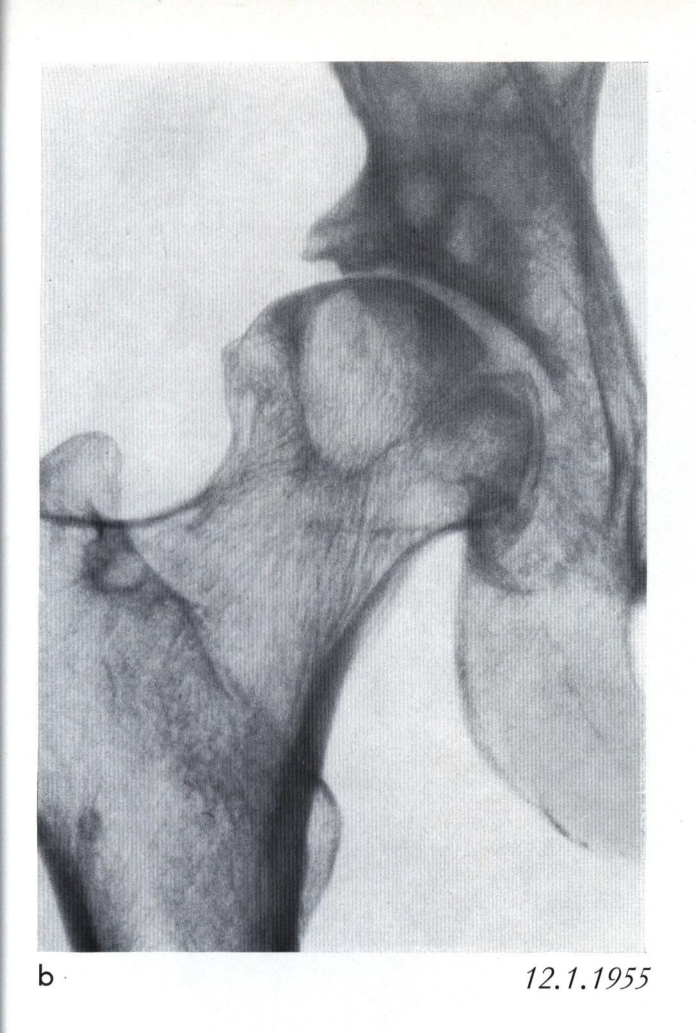




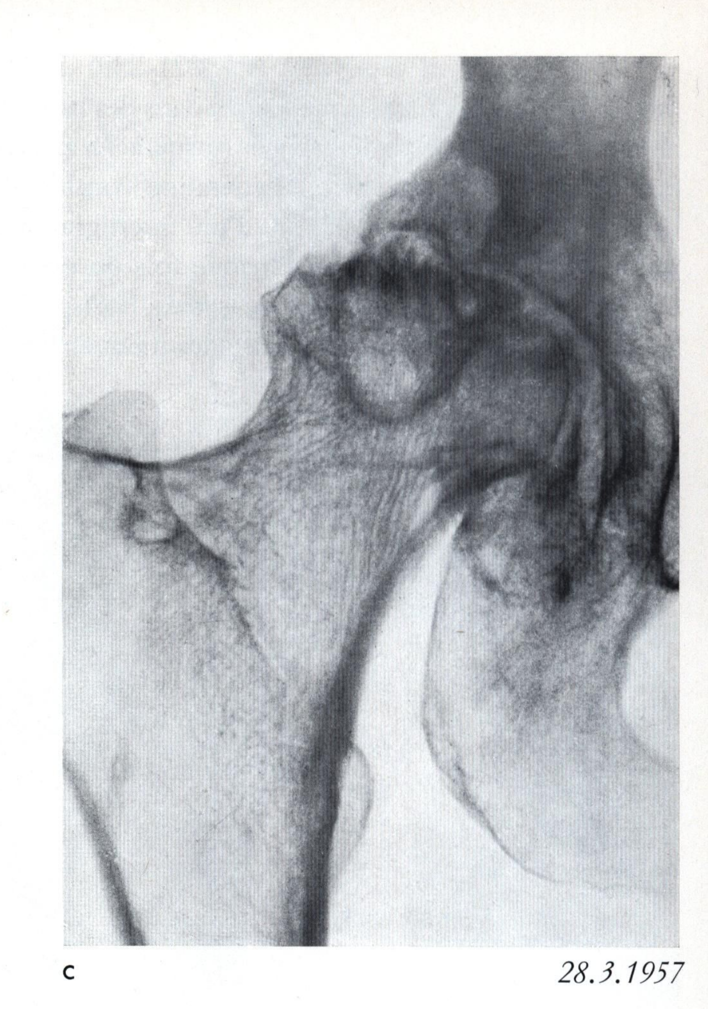
d *12.7.1957*



e *16.12.1957*

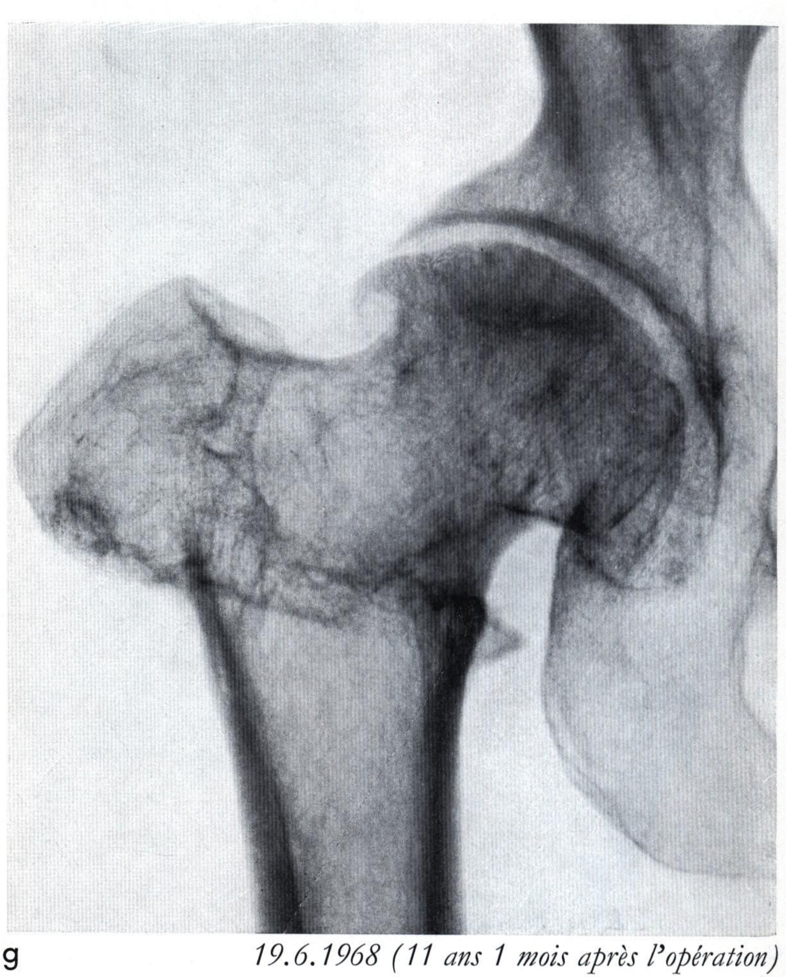


b *12.1.1955*



c *28.3.1957*

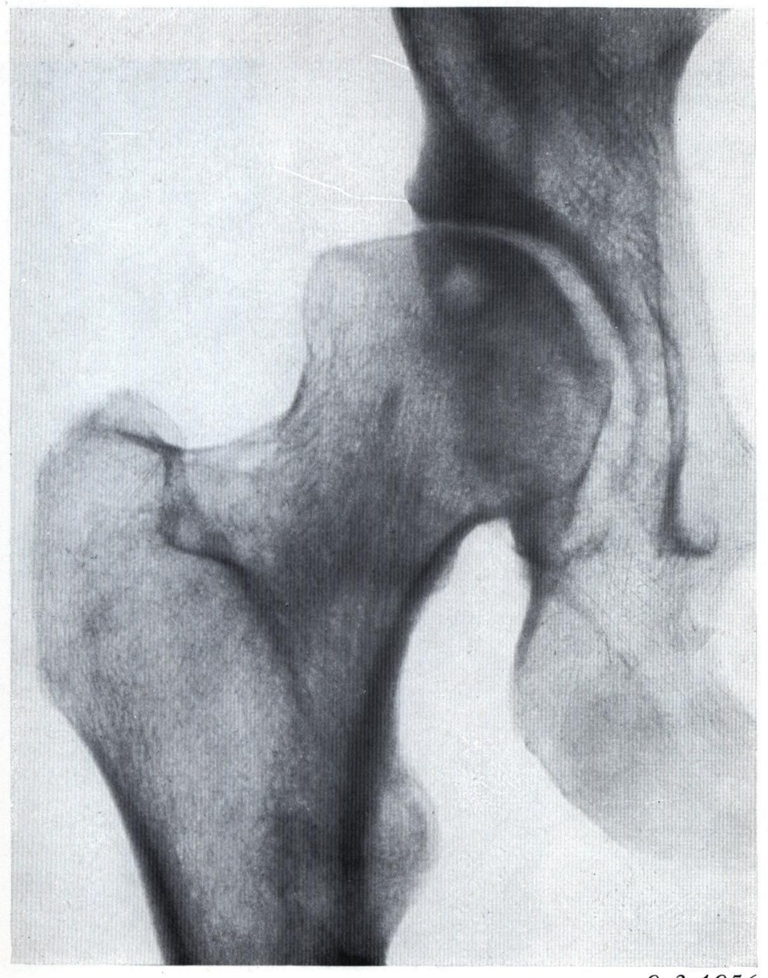
f *12.7.1963*



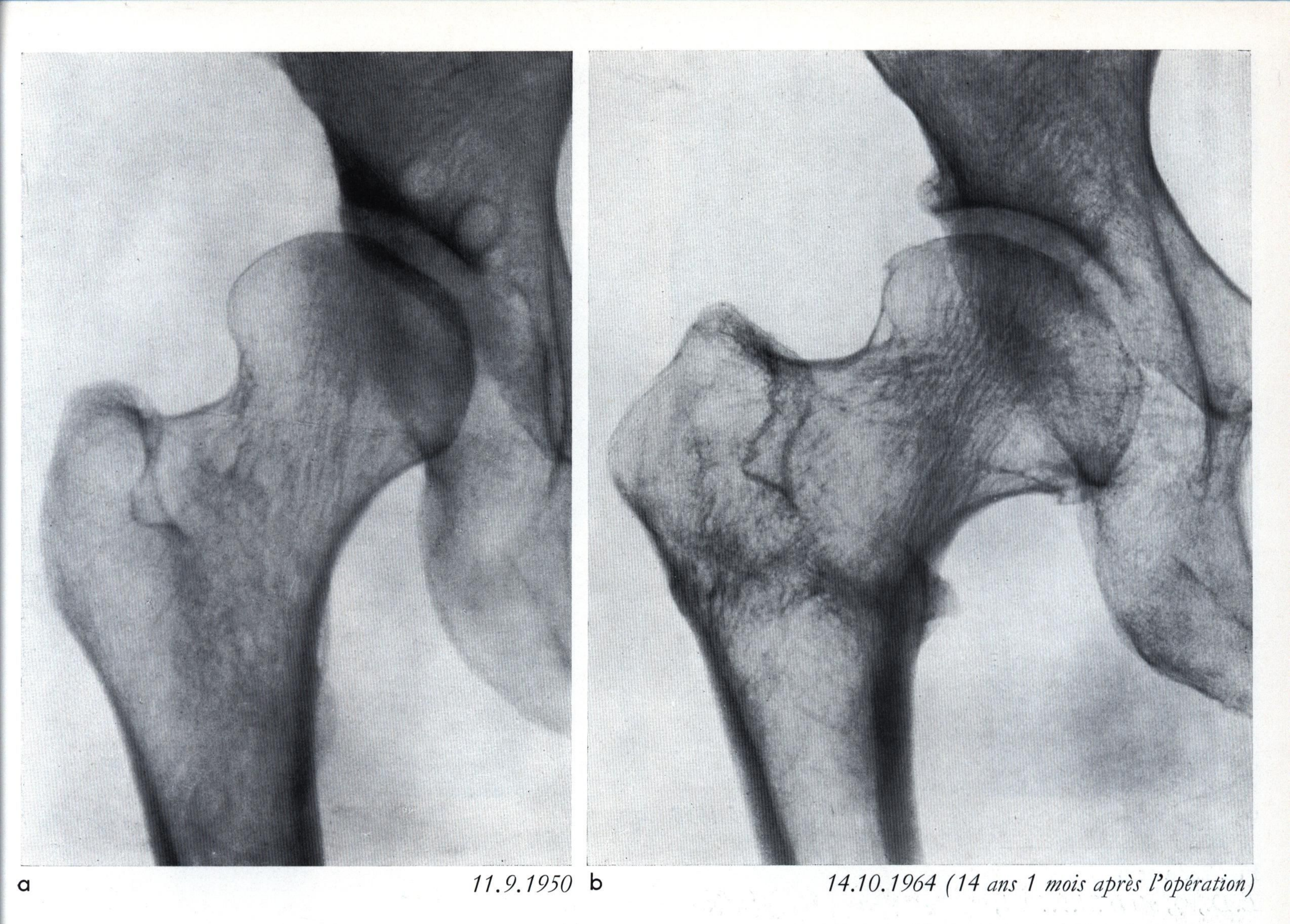
g *19.6.1968 (11 ans 1 mois après l'opération)*

Ce cas et tous les suivants (fig. 221–239) où le recul atteint 17 ans démontrent que, même dans des hanches très abîmées et chez des patients âgés (jusqu'à 71 ans), l'opération permet d'obtenir une régénération considérable de l'articulation avec réapparition d'un interligne plus ou moins large et bien délimité. Chaque fois on observa un comblement spontané des pseudo-kystes, la disparition de la douleur, l'amélioration très nette des mouvements et de la capacité fonctionnelle.

Fig. 221 a et b
A.L., ♀, née le 18.6.1927,
Opération le 26.4.1956 (à l'âge de 28 ans et 10 mois)

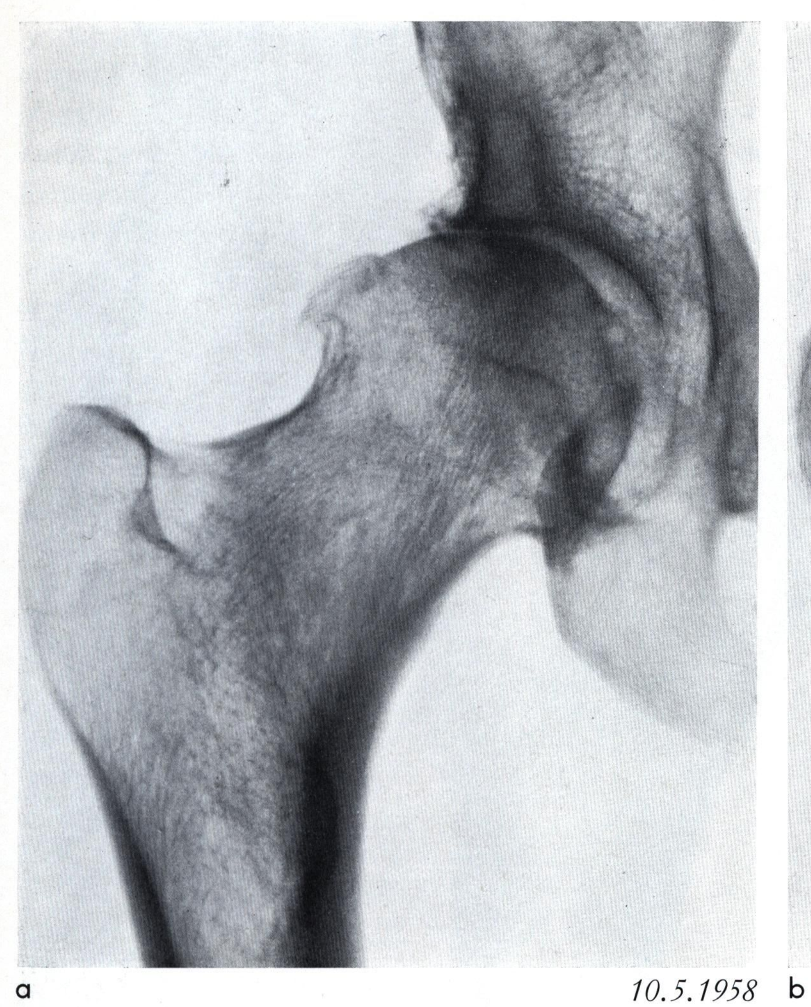


a *9.3.1956* b *15.4.1971 (15 ans 1 mois après l'opération)*

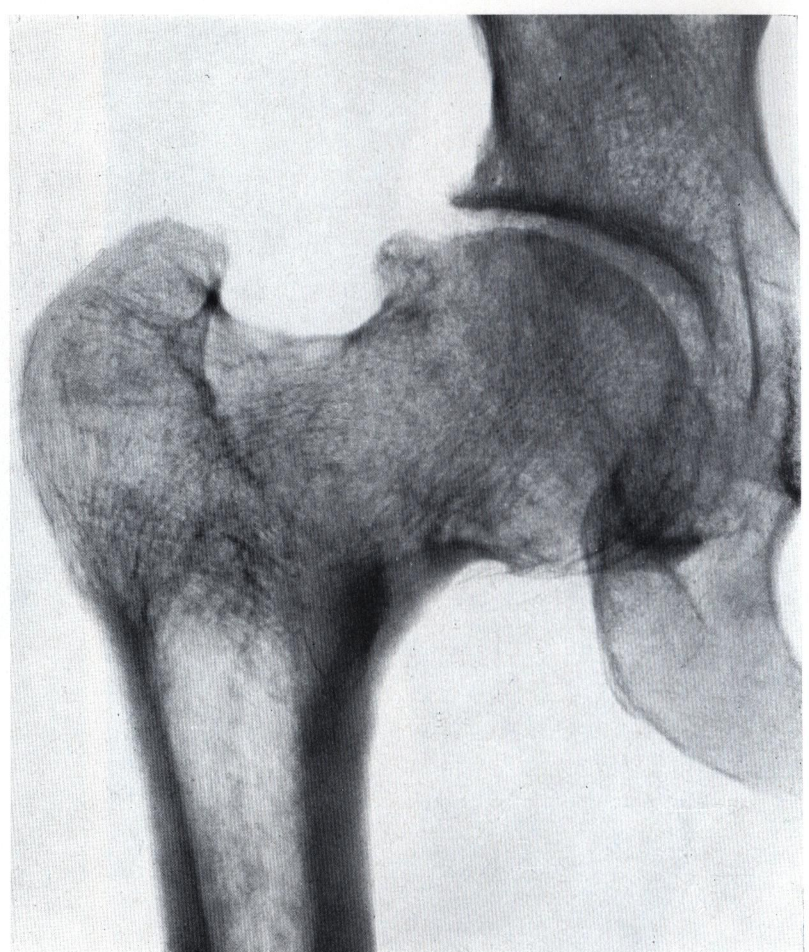


a *11.9.1950* b *14.10.1964 (14 ans 1 mois après l'opération)*

Fig. 222a et b
A.Sch., ♀, née le 29.3.1916,
Opération le 14.9.1950 (à l'âge de 34 ans et 6 mois)

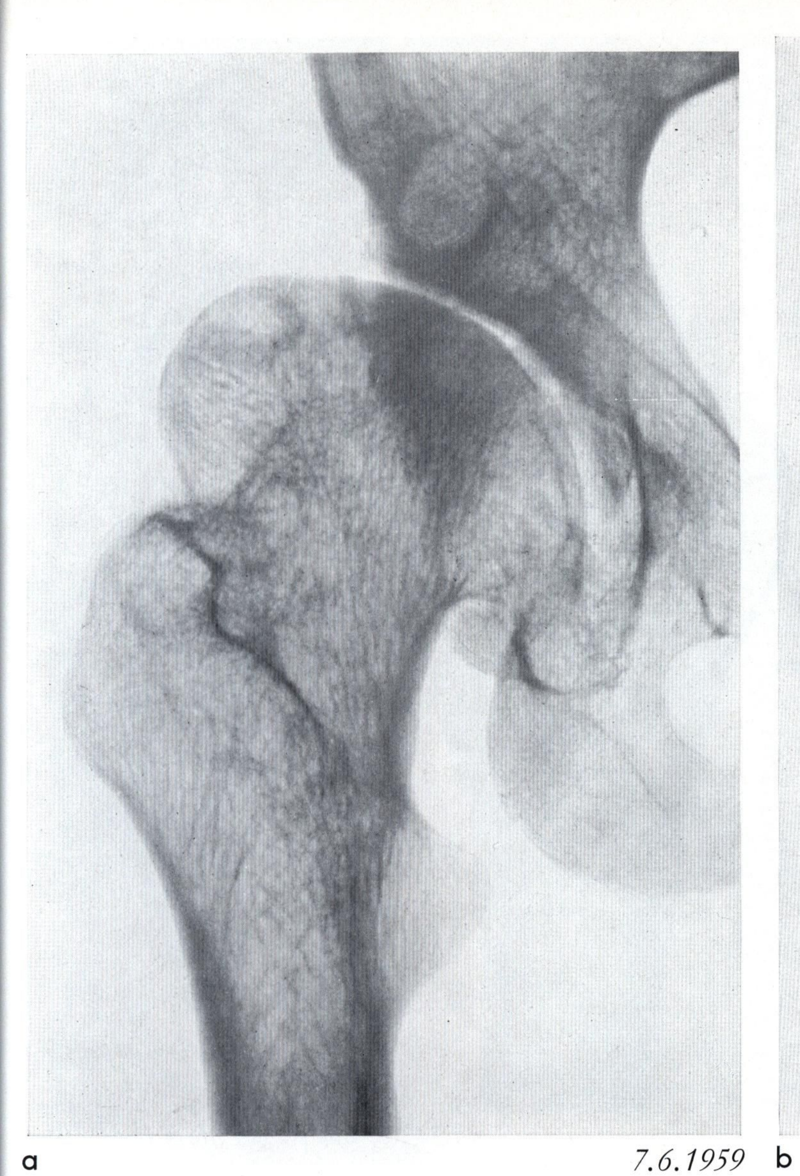


a *10.5.1958*

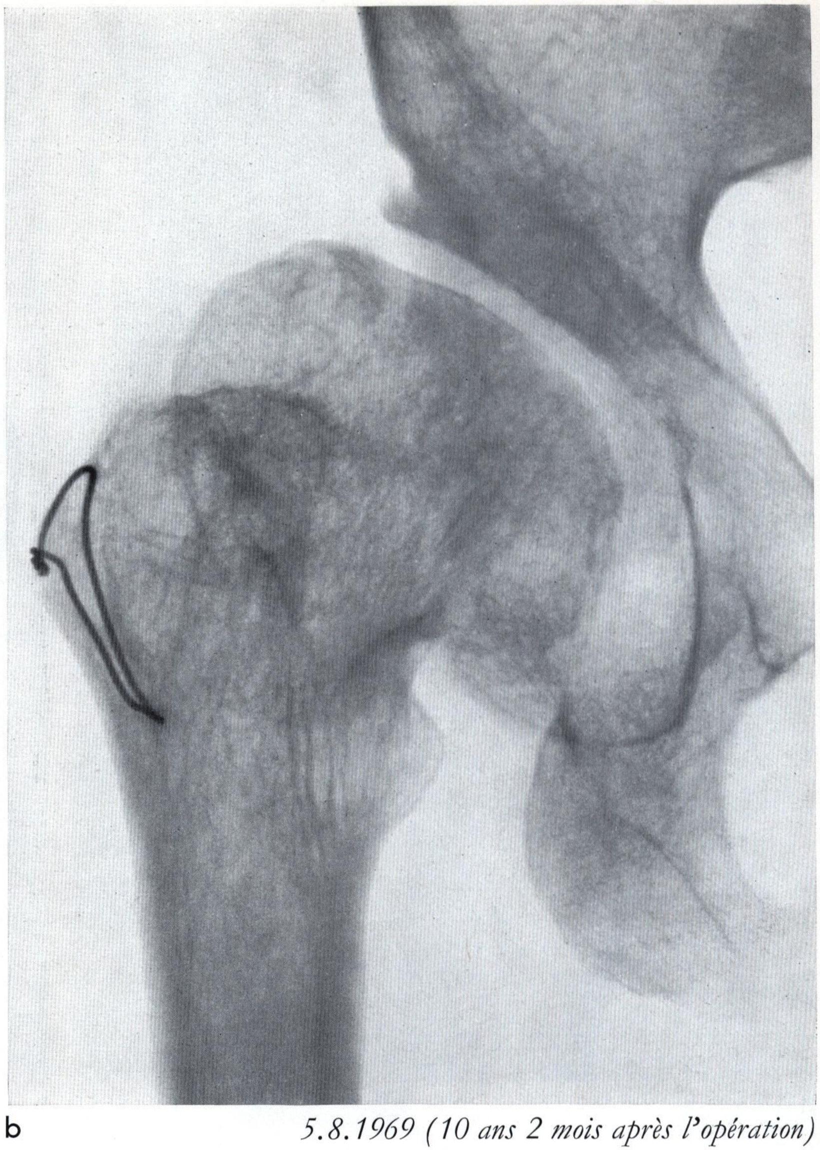


b *28.5.1969 (10 ans 10 mois après l'opération)*

Fig. 223a et b
L.D., ♀, née le 24.9.1921,
Opération le 2.8.1958 (à l'âge de 36 ans et 10 mois)

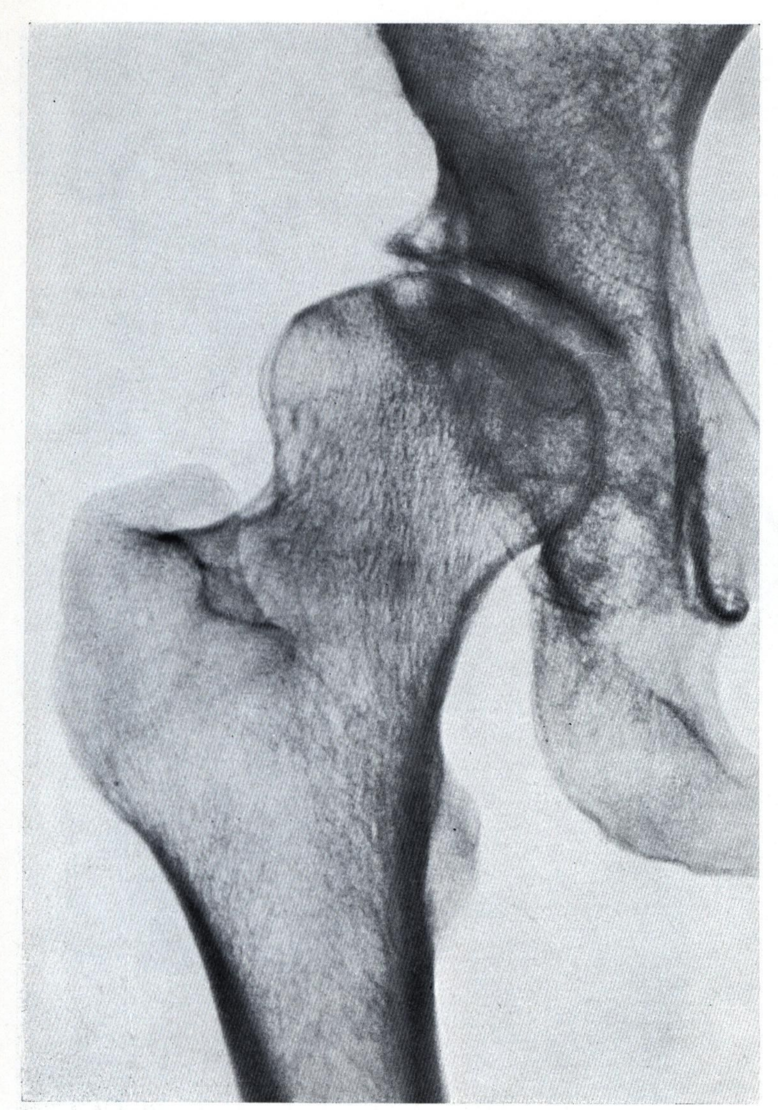


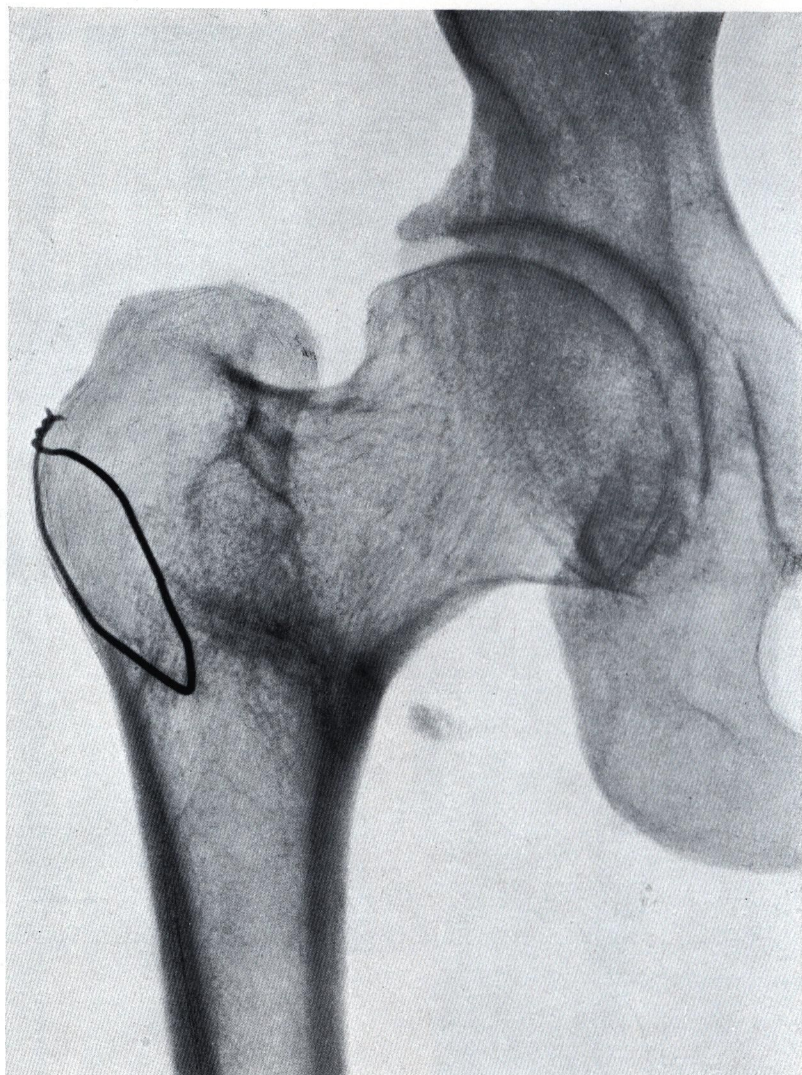
a *7.6.1959*



b *5.8.1969 (10 ans 2 mois après l'opération)*

Fig. 224a et b
M.D., ♀, née le 8.2.1922,
Opération le 9.6.1959 (à l'âge de 37 ans et 4 mois)





a 1.9.1959 b *24.8.1964 (5 ans après l'opération)*

Fig. 225a et b
S.D., ♀, née le 28.12.1921,
Opération le 3.9.1959 (à l'âge de 37 ans et 8 mois)

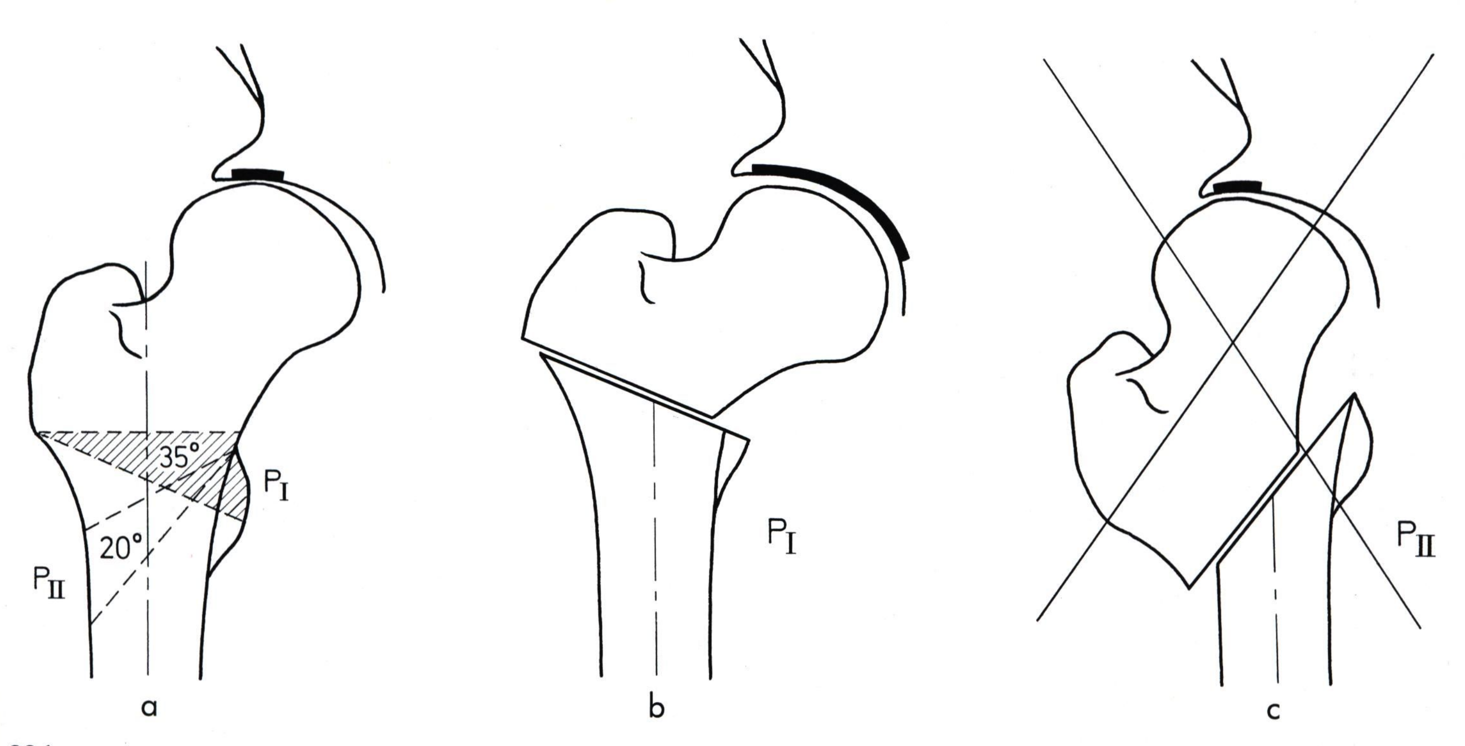
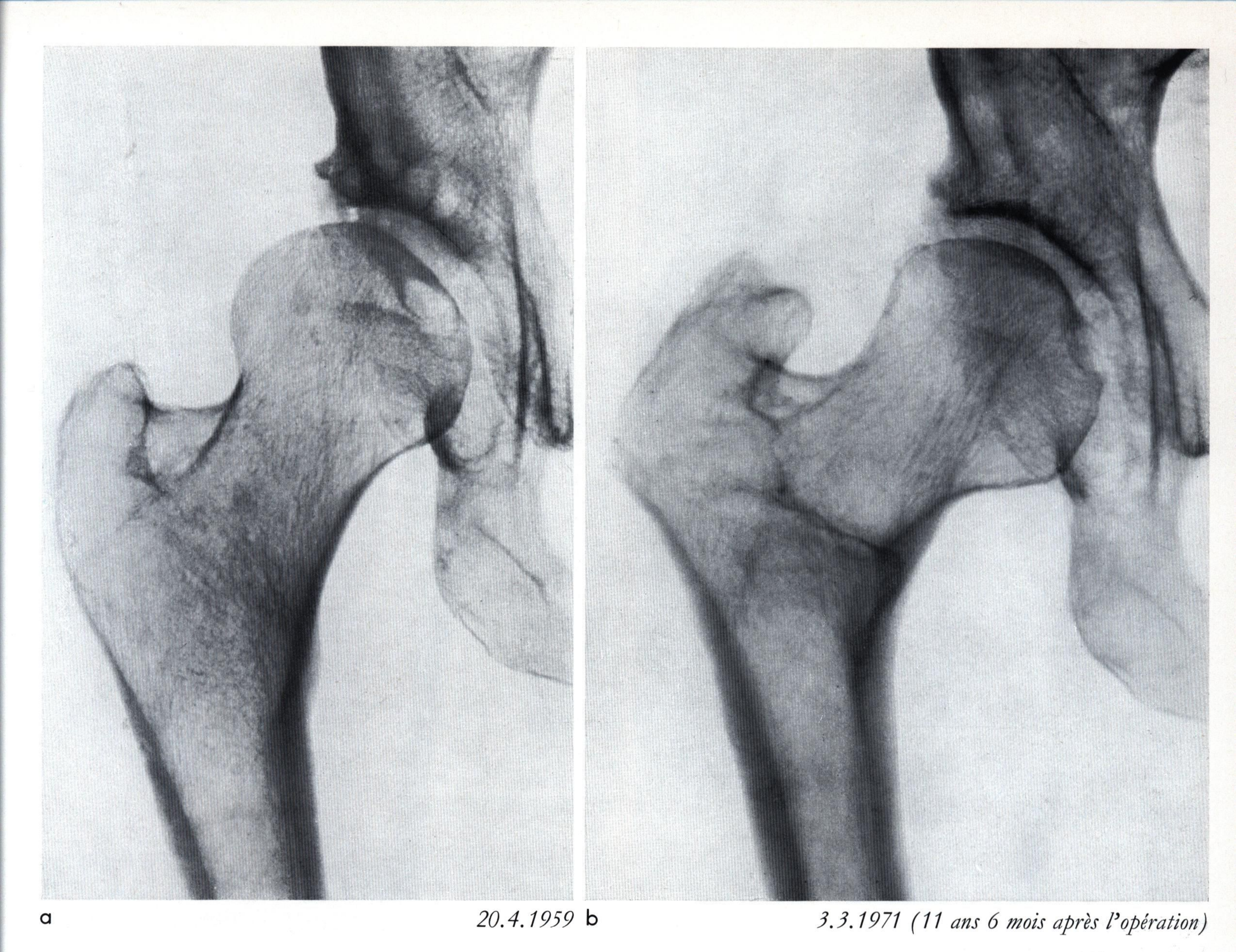
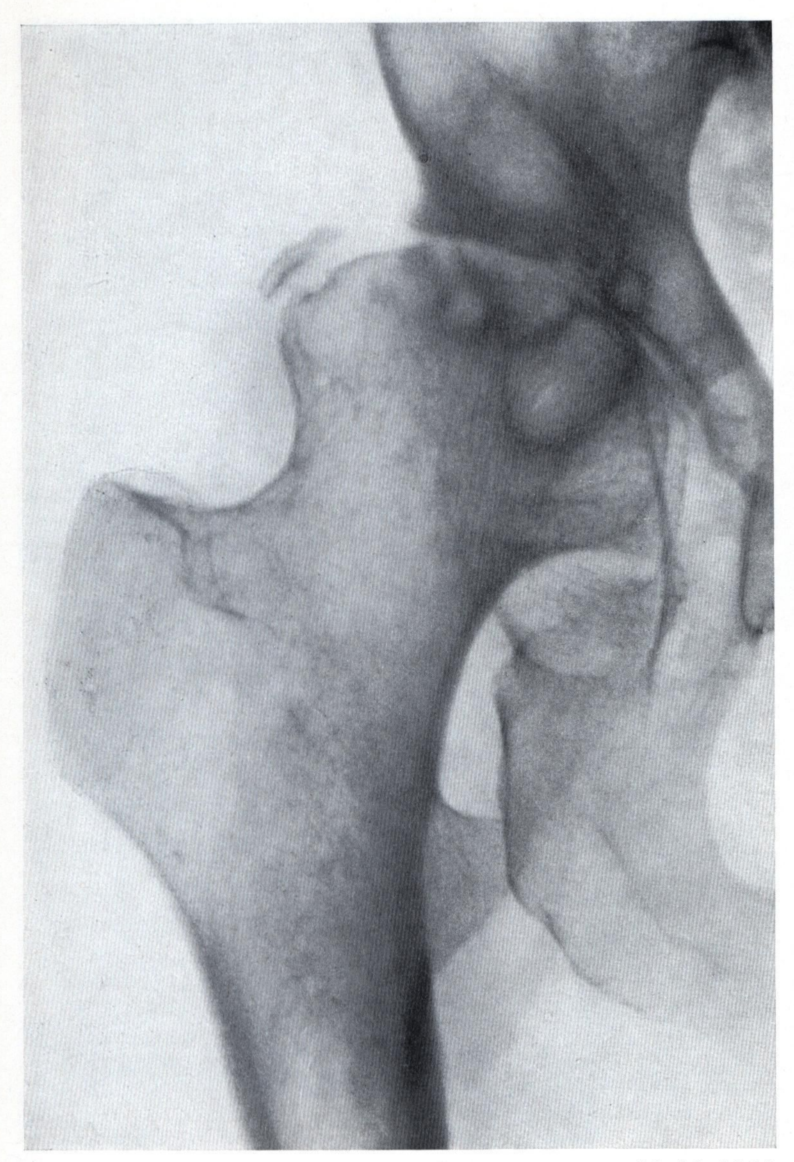


Fig. 226a–c

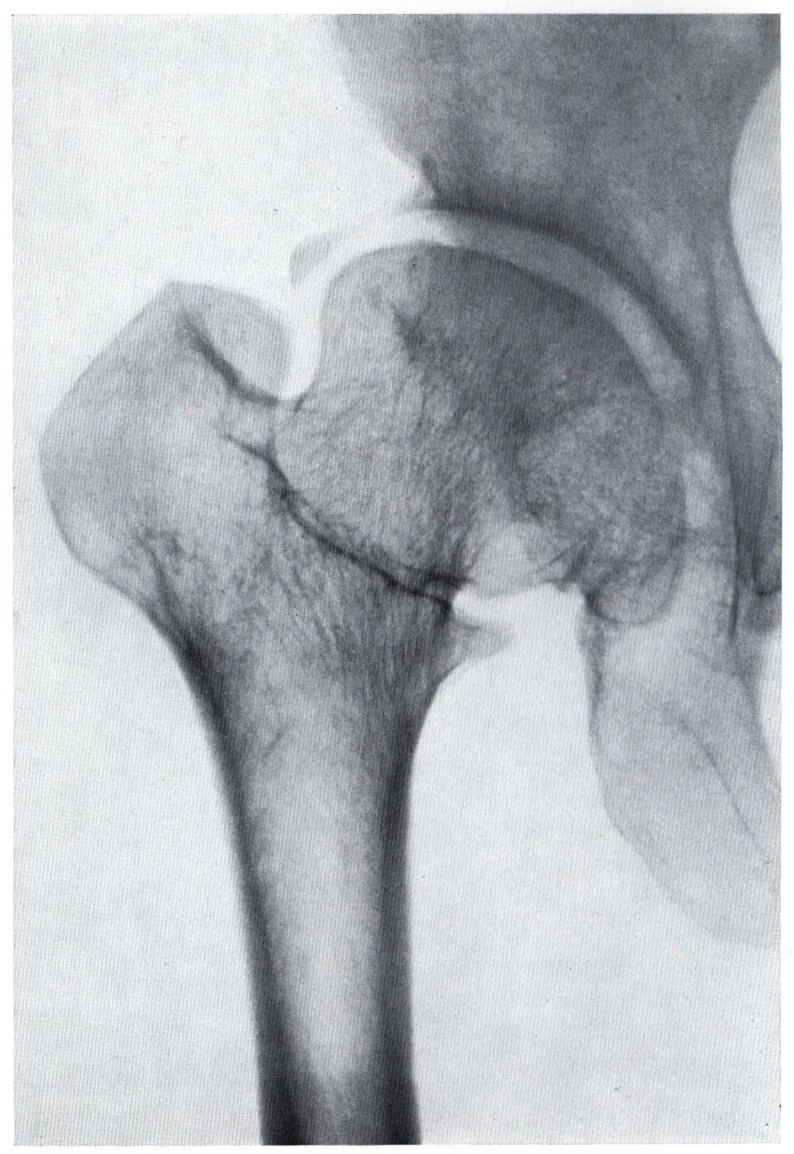


a 20.4.1959 b 3.3.1971 (11 ans 6 mois après l'opération)

Fig. 227a et b
M.C., ♀, née le 12.12.1913,
Opération le 17.9.1959 (à l'âge de 45 ans et 9 mois)

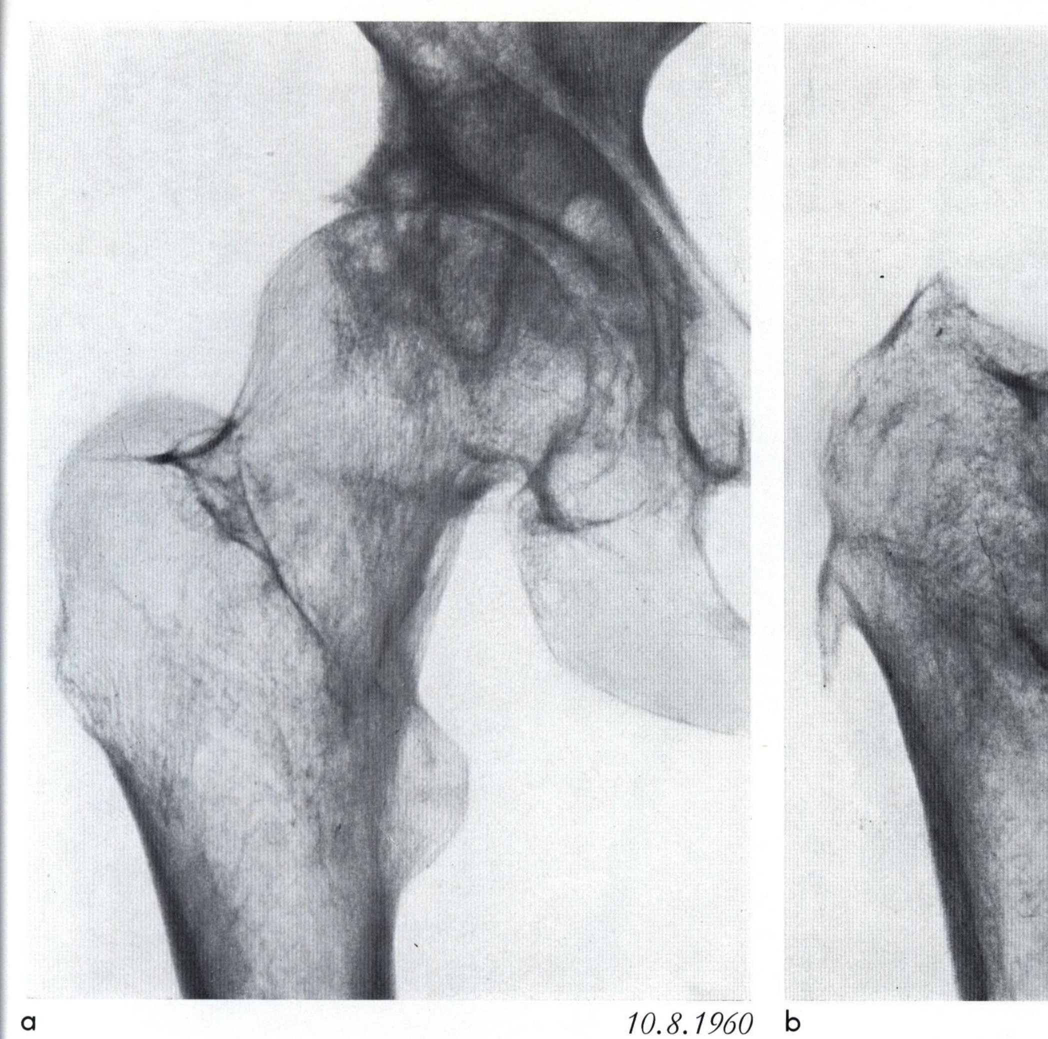


a *13.10.1953*



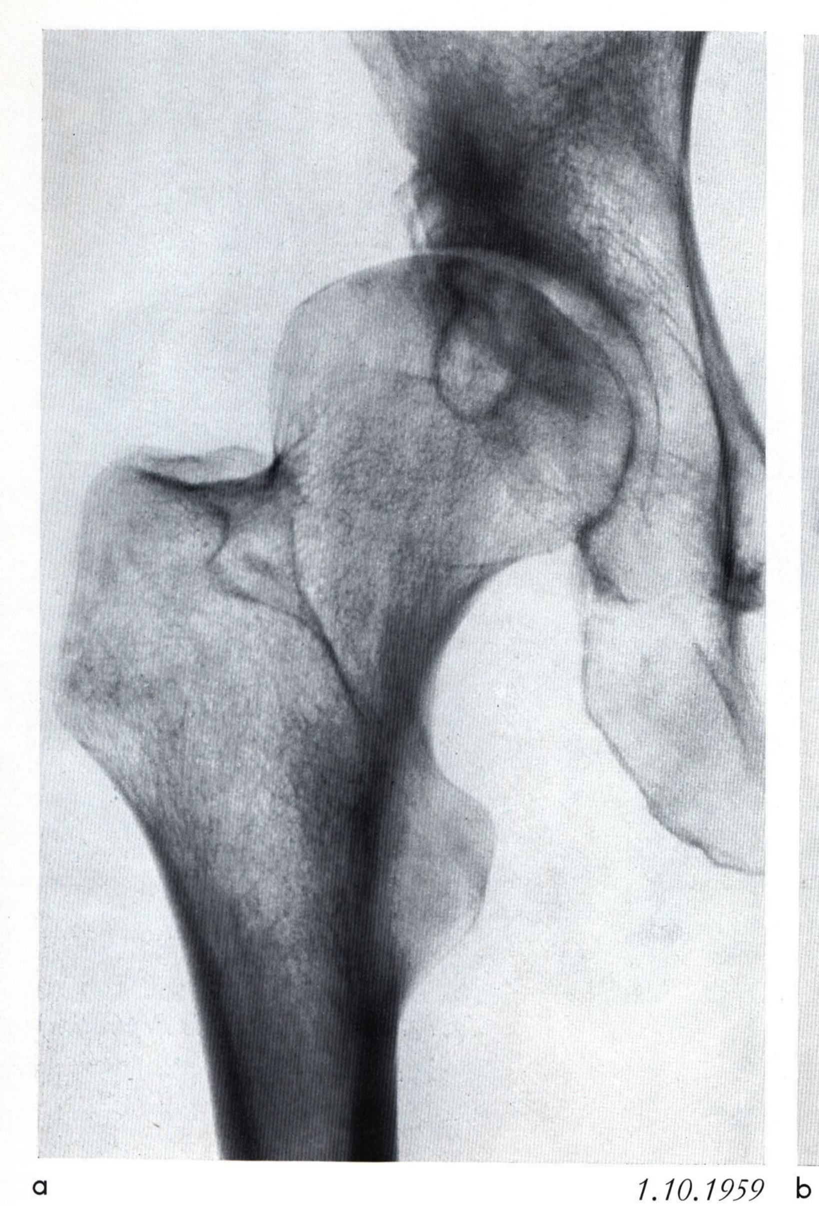
b *9.11.1960 (7 ans 1 mois après l'opération)*

Fig. 228a et b
K.R., ♀, née le 1.3.1907,
Opération le 22.10.1953 (à l'âge de 46 ans et 8 mois)

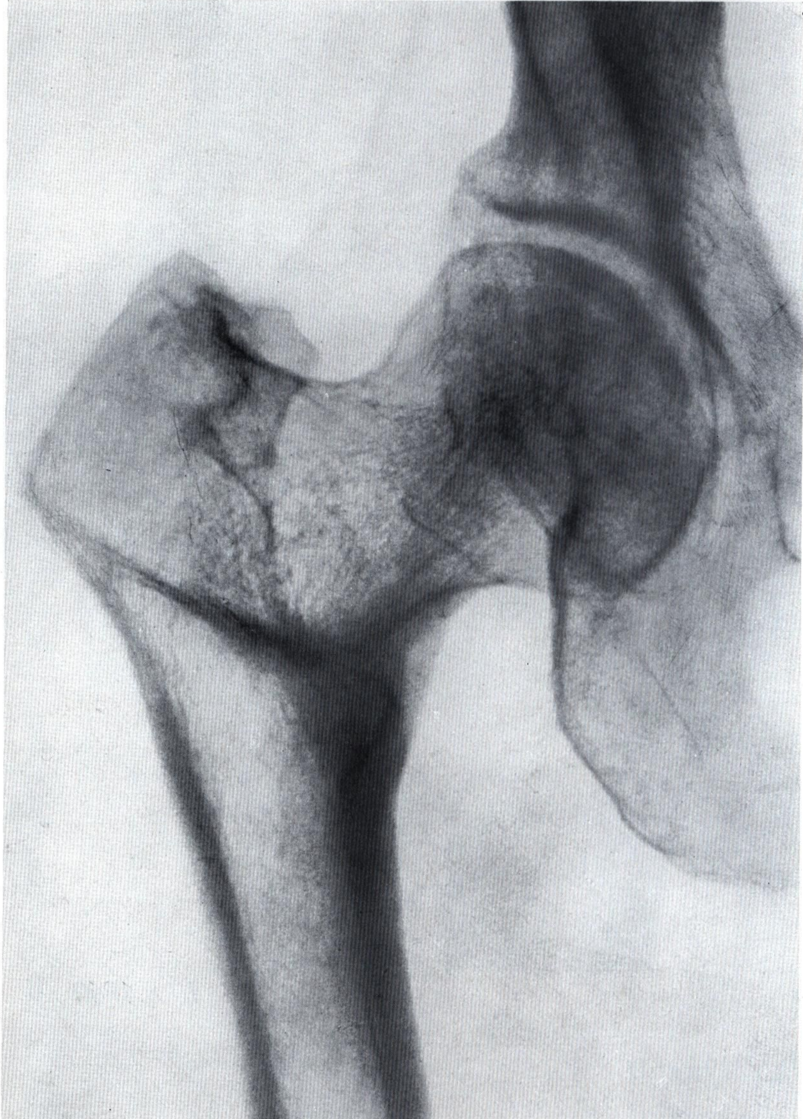


a *10.8.1960* b *11.11.1964 (4 ans après l'opération)*

Fig. 229a et b
C.B., ♀, née le 2.2.1911,
Opération le 11.11.1960 (à l'âge de 49 ans et 9 mois)

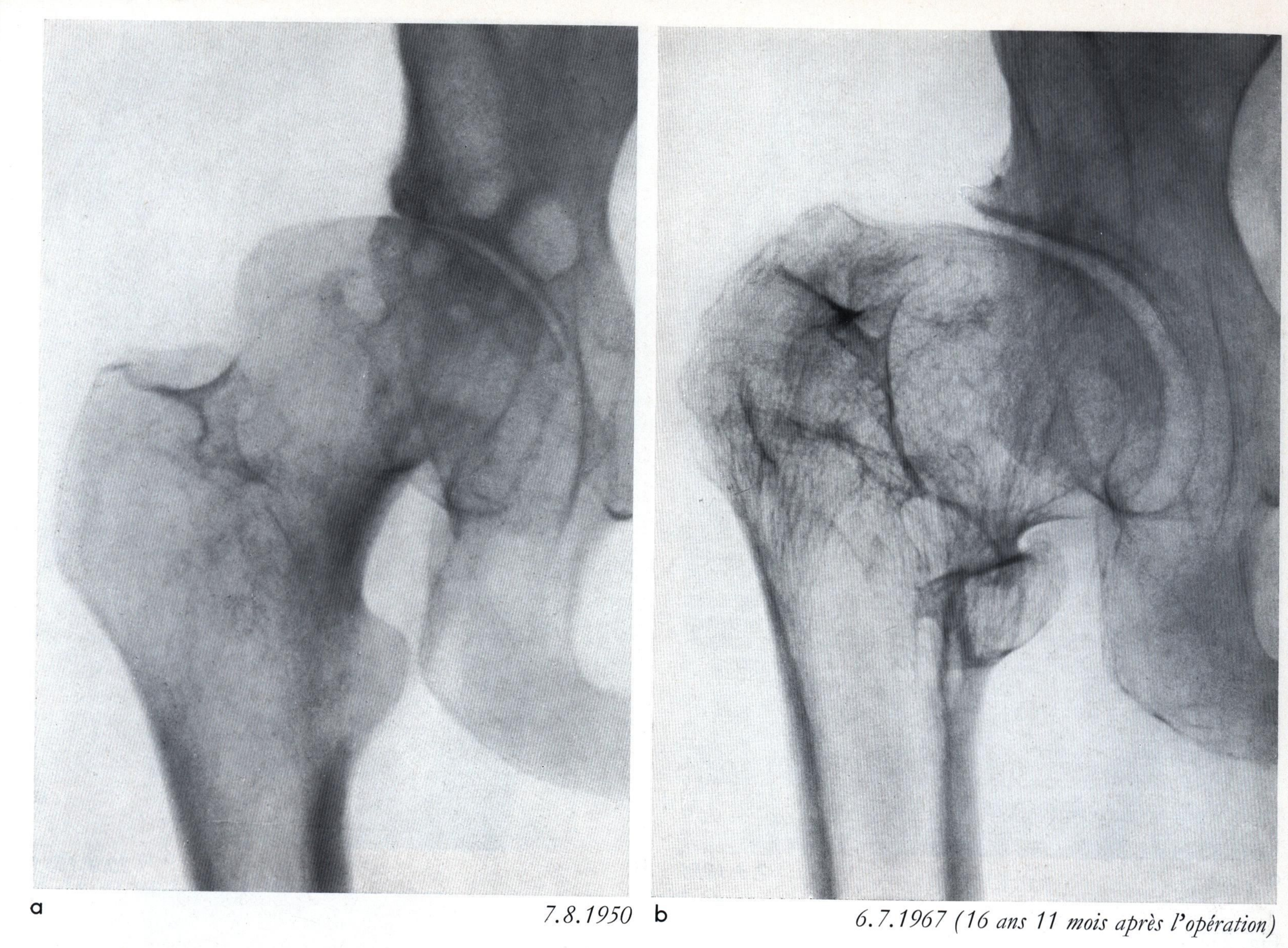


a *1.10.1959*



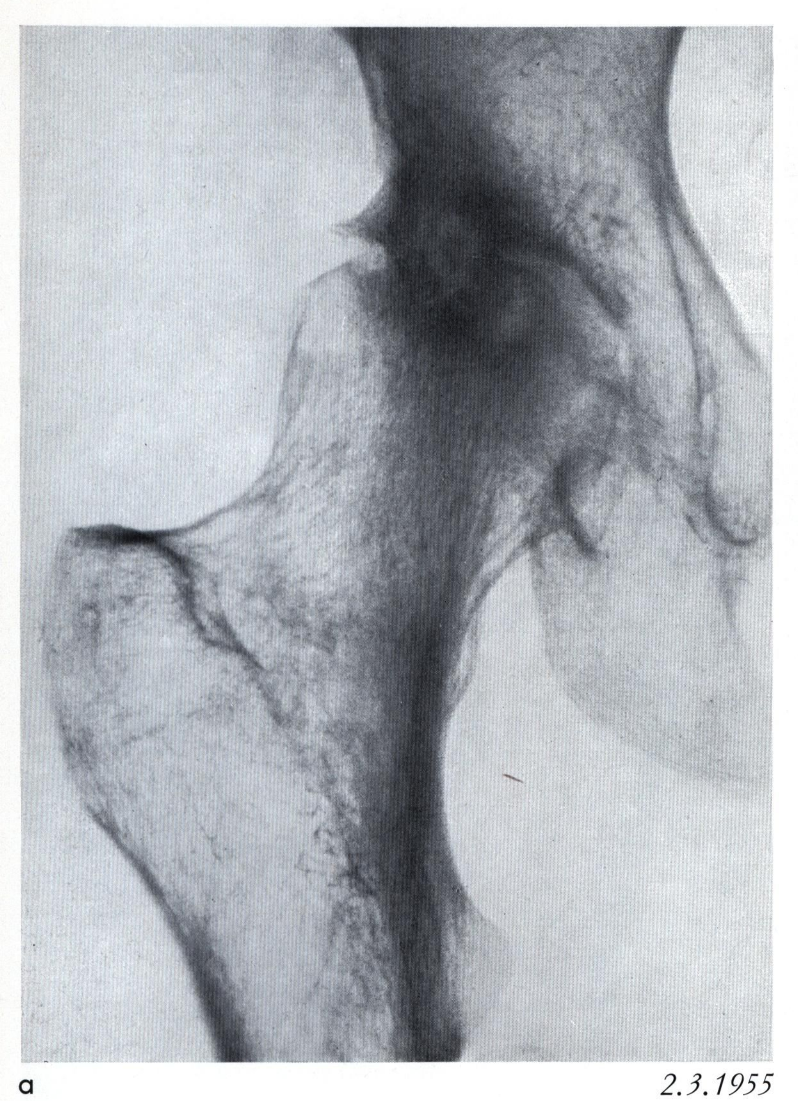
b *18.3.1964 (4 ans 5 mois après l'opération)*

Fig. 230a et b
C.W., ♀, née le 16.10.1909,
Opération le 15.10.1959 (à l'âge de 50 ans)

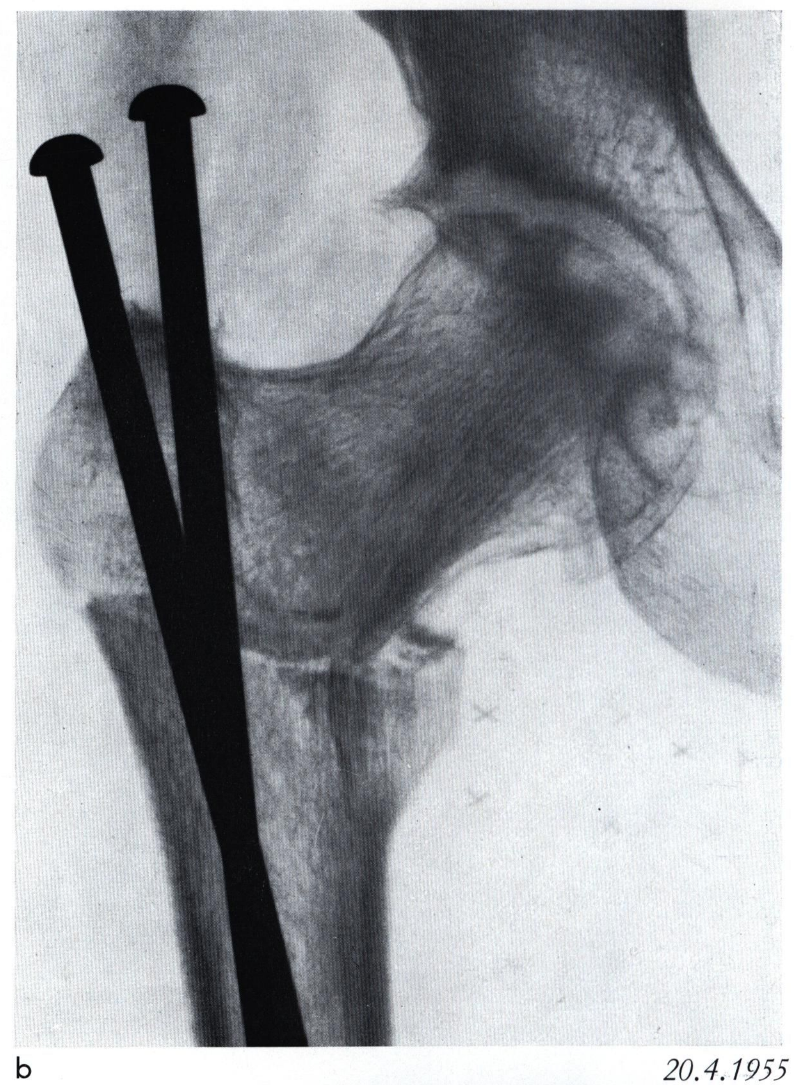


a *7.8.1950* b *6.7.1967 (16 ans 11 mois après l'opération)*

Fig. 231 a et b
K.L., ♀, née le 10.10.1898,
Opération le 10.8.1950 (à l'âge de 51 ans et 10 mois)



a 2.3.1955

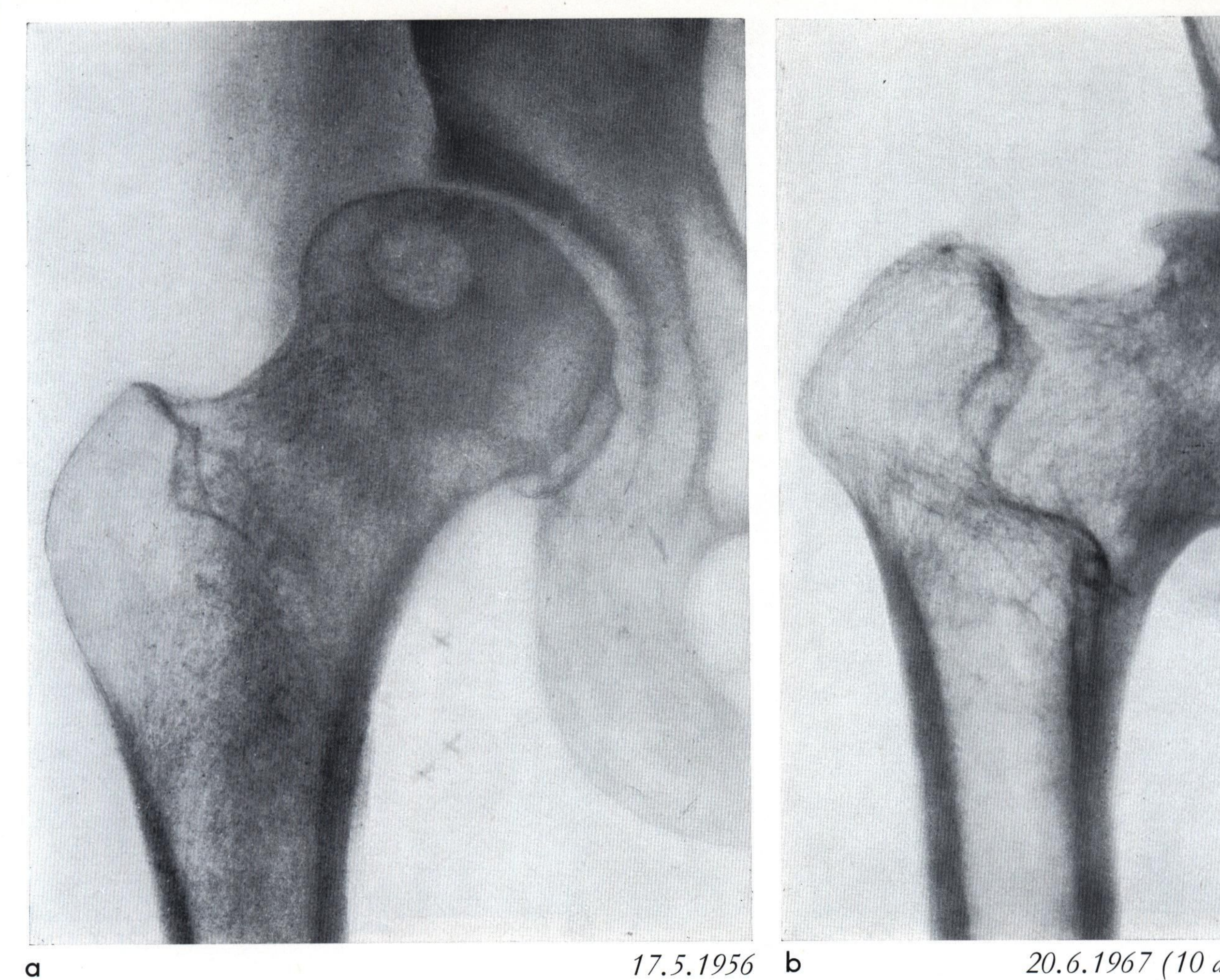


b 20.4.1955

Fig. 232a–c
K.V., ♀, née le 5.10.1902,
Opération le 10.3.1955 (à l'âge de 52 ans et 5 mois)

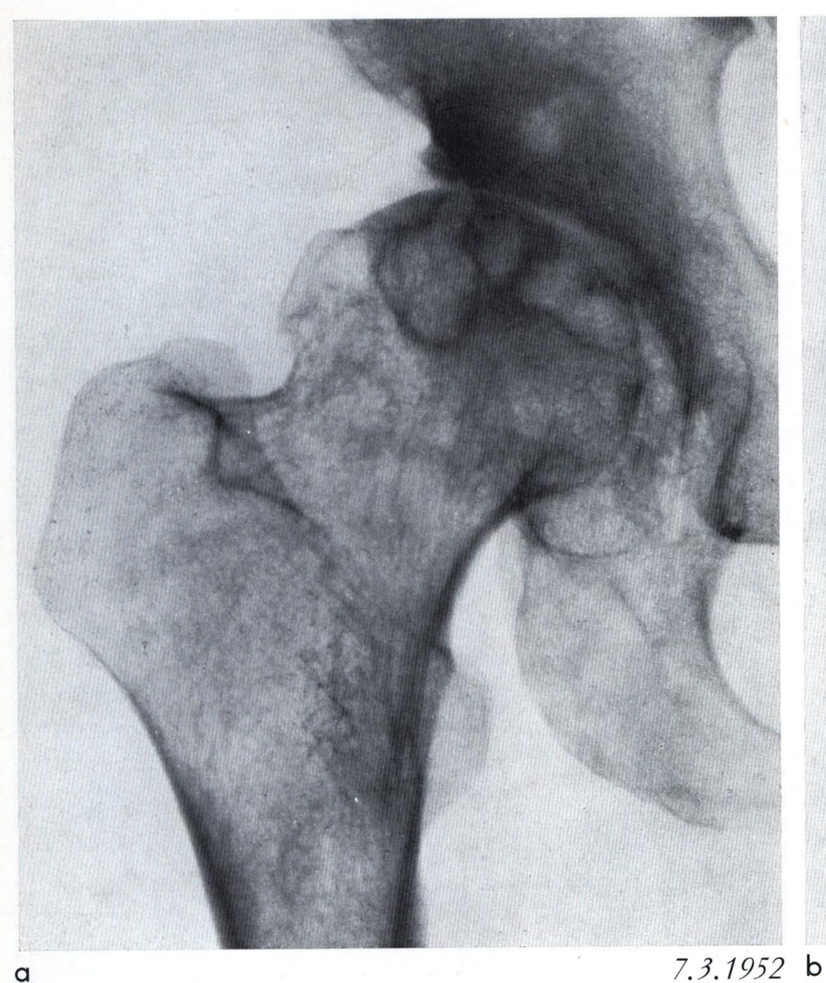


c *14.4.1968 (13 ans 1 mois après l'opération)*

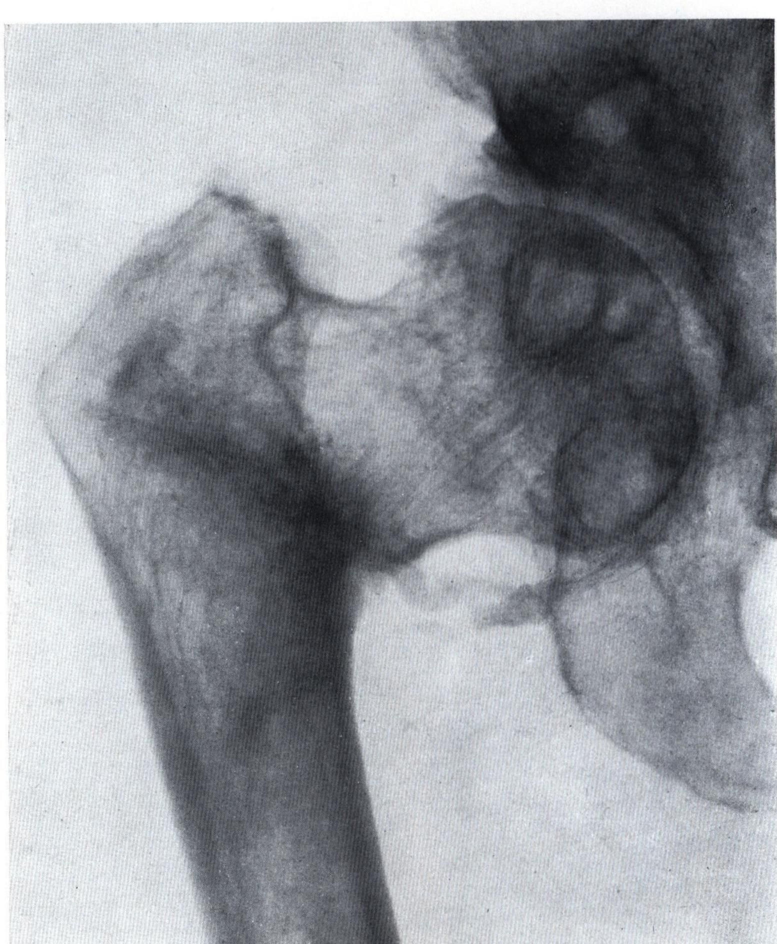


a *17.5.1956* b *20.6.1967 (10 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 233a et b
E.H., ♀, née le 24.12.1899,
Opération le 11.9.1956 (à l'âge de 56 ans et 9 mois)

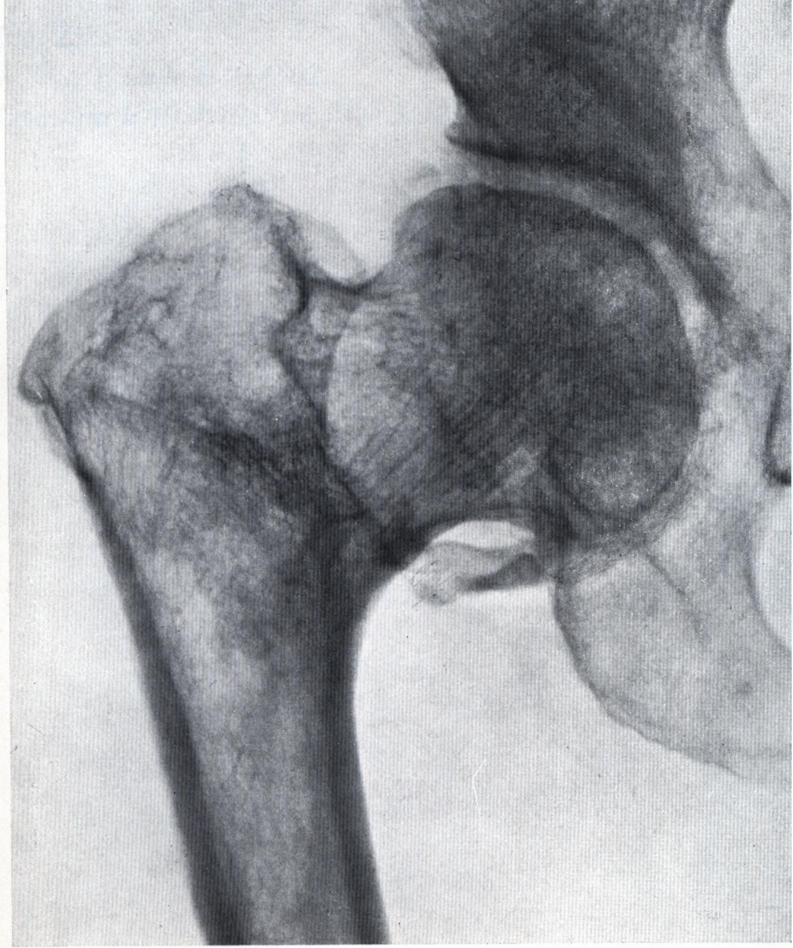


a 7.3.1952

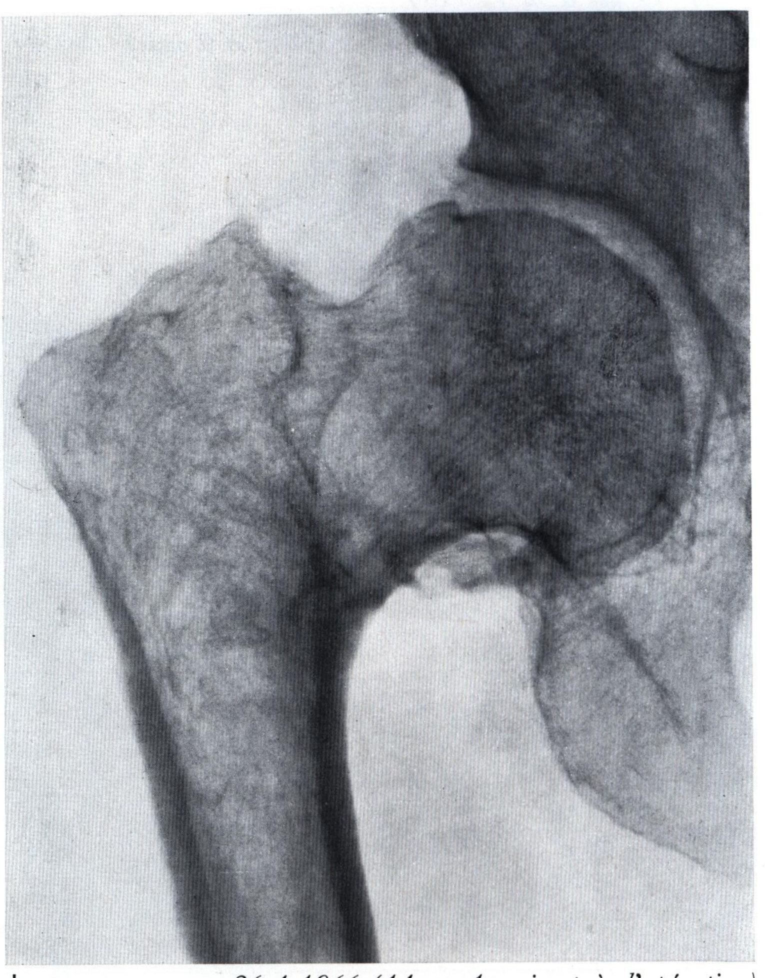


b 21.1.1953

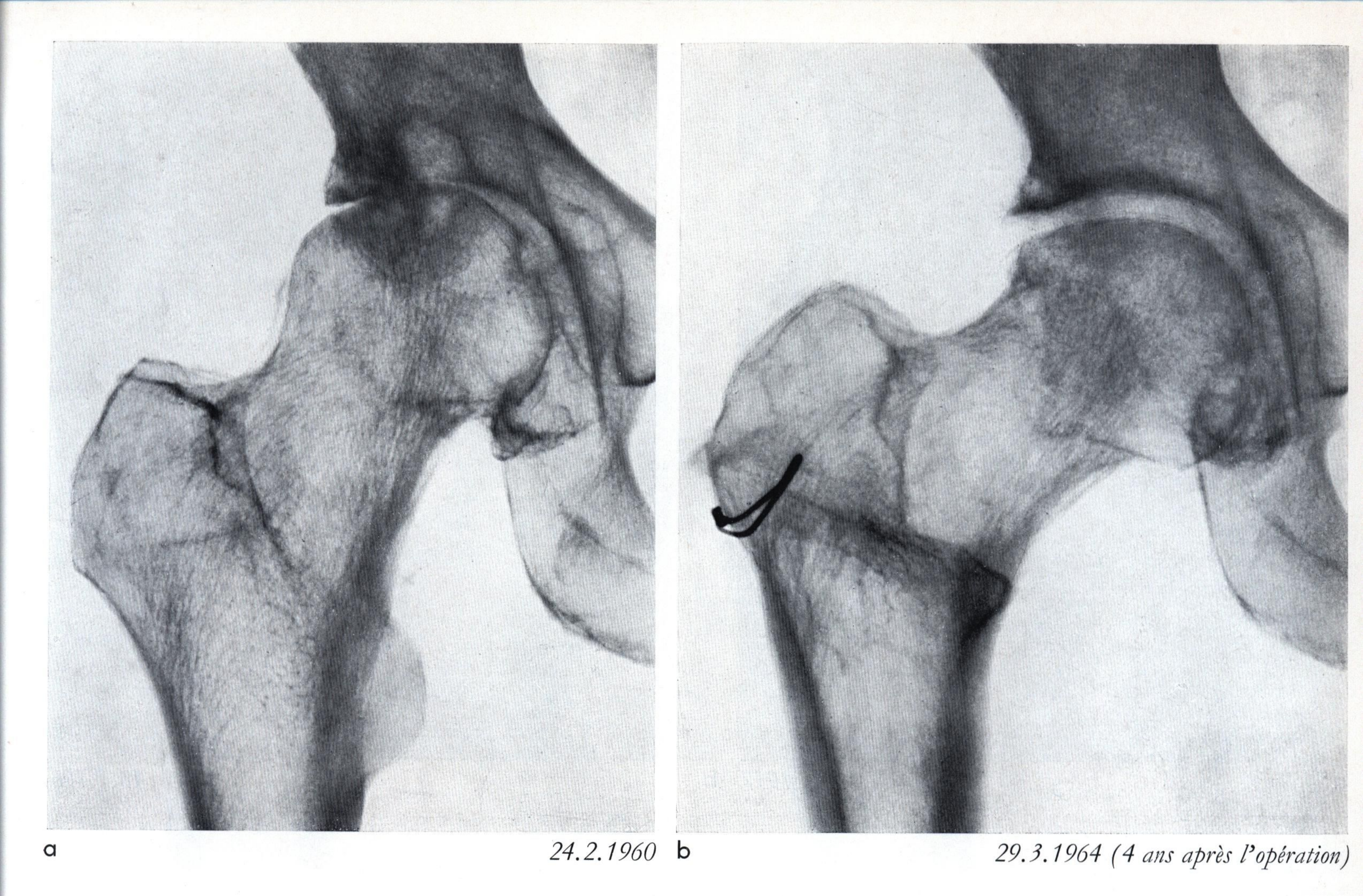
Fig. 234a–d
J.K., ♂, né le 22.8.1895,
Opération le 13.3.1952 (à l'âge de 56 ans et 7 mois)



c 21.2.1958

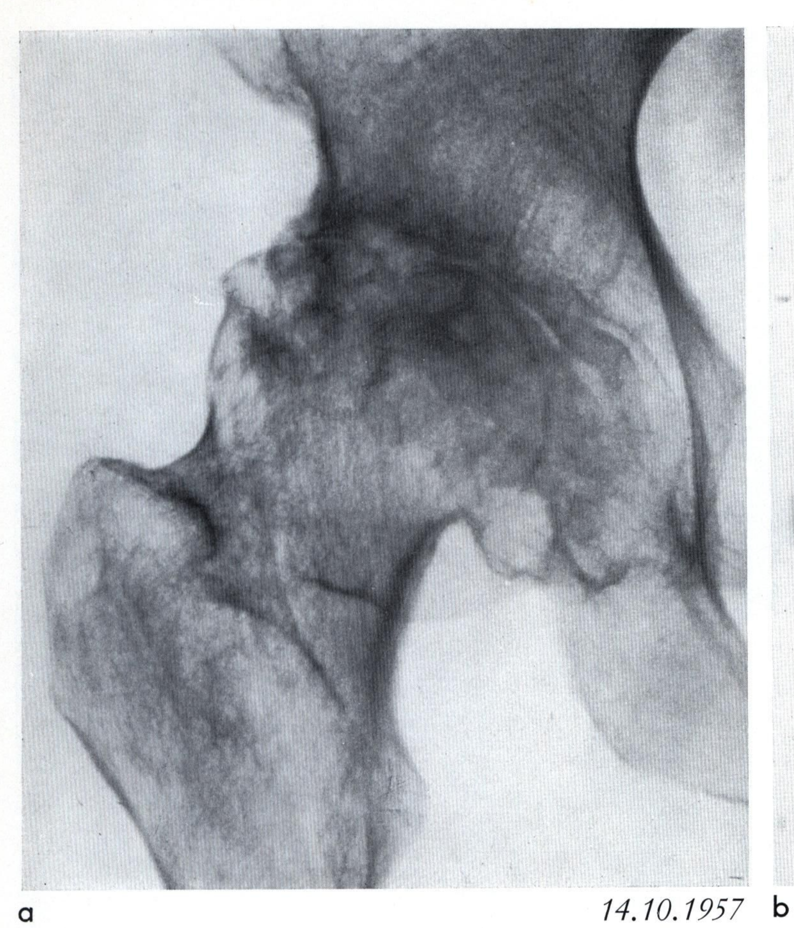


d 26.4.1966 (14 ans 1 mois après l'opération)

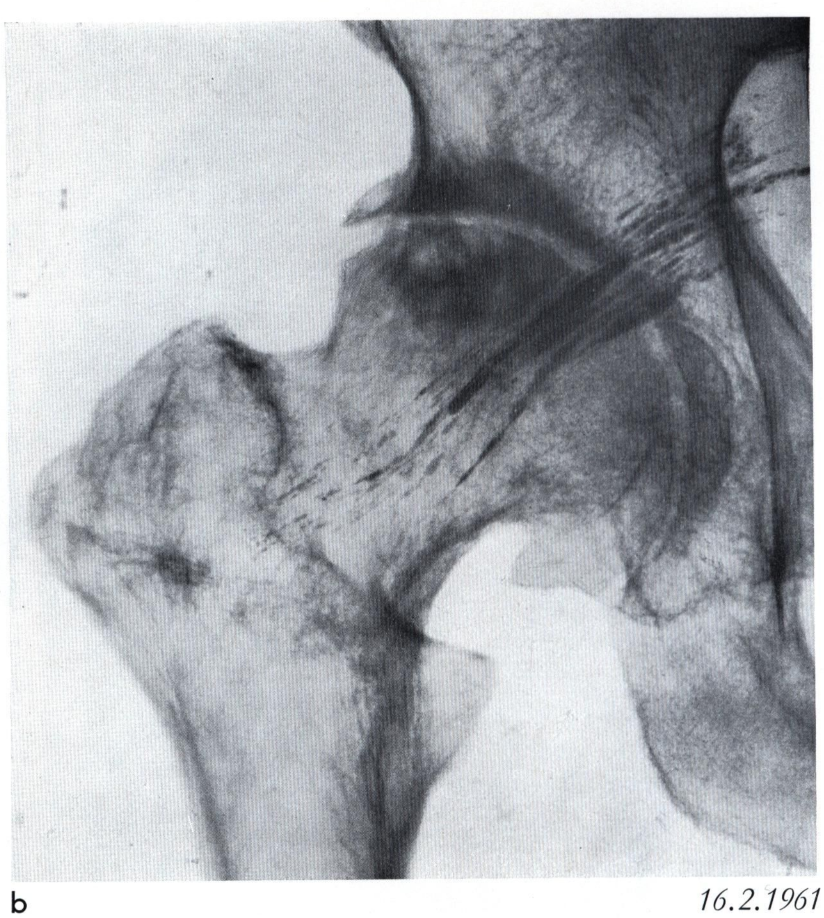


a *24.2.1960* b *29.3.1964 (4 ans après l'opération)*

Fig. 235a et b
L.K., ♀, née le 16.9.1900,
Opération le 15.3.1960 (à l'âge de 59 ans et 6 mois)

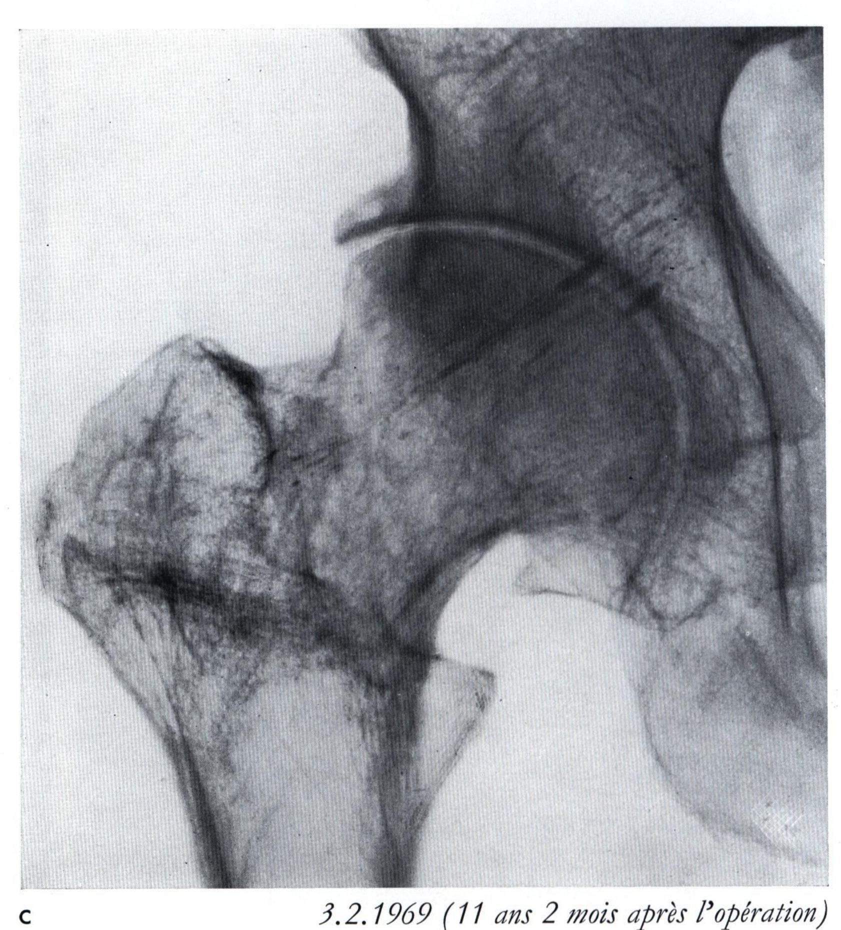


a *14.10.1957*

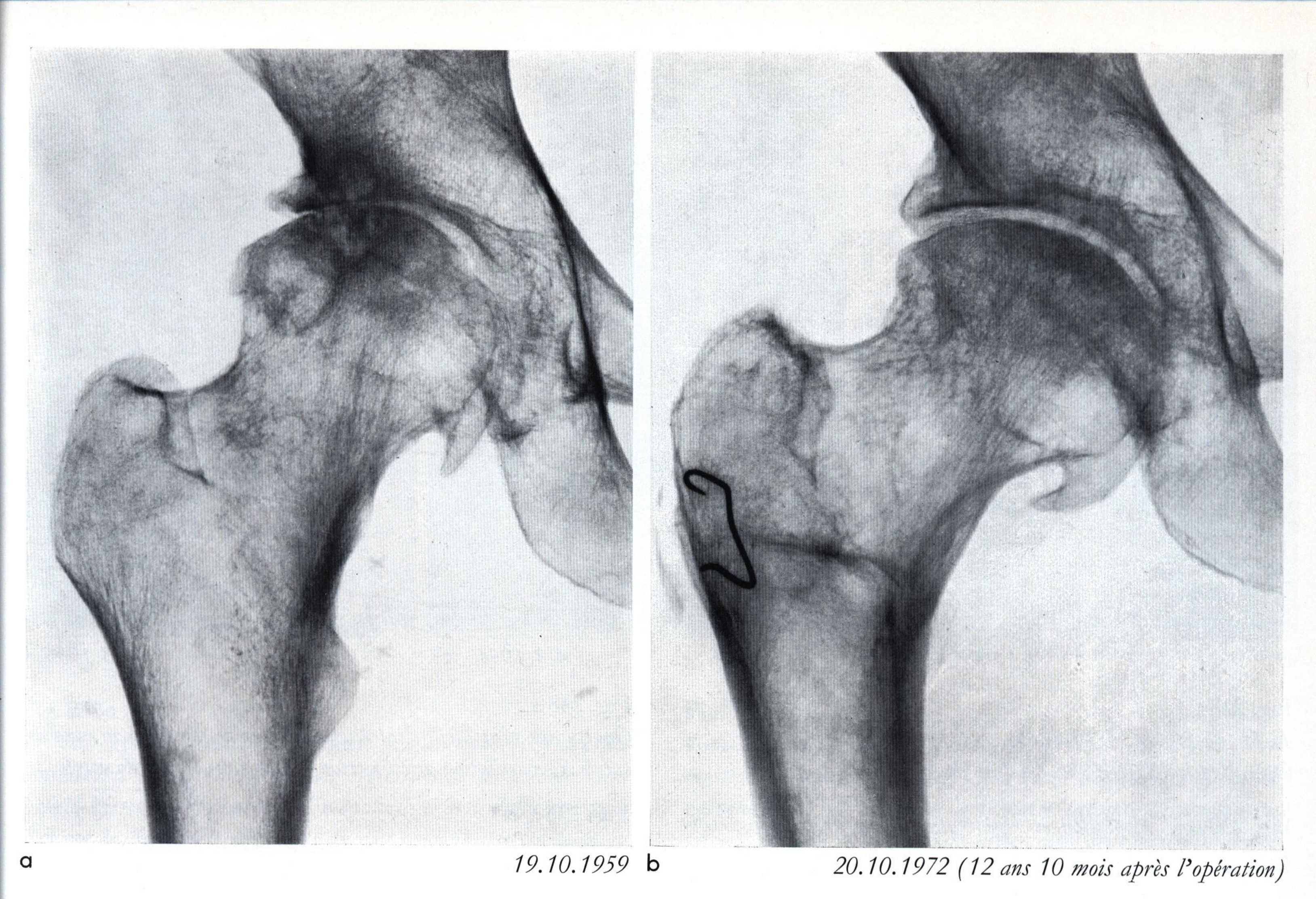


b *16.2.1961*

Fig. 236a–c (voir page 155)
P.L., ♂, né le 8.7.1897,
Opération le 5.12.1957 (à l'âge de 60 ans et 5 mois)



c *3.2.1969 (11 ans 2 mois après l'opération)*



a 19.10.1959 b 20.10.1972 (12 ans 10 mois après l'opération)

Fig. 237a et b
E.W., ♀, née le 5.6.1894,
Opération le 8.12.1959 (à l'âge de 65 ans et 6 mois)

a 5.5.1950 b 4.3.1954 c 11.3.1955

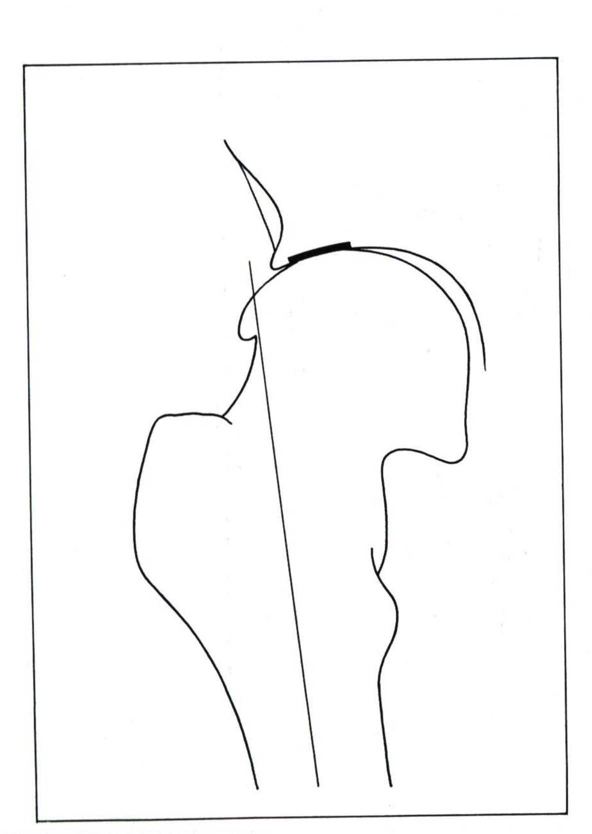
Fig. 238a–f
E.H., ♀, née le 15.10.1885,
Opération le 18.10.1956 (à l'âge de 71 ans)

Fig. 238a–f. *Evolution et régénération d'une coxarthrose primaire grave à partir de 65 ans. J'ai opéré la patiente alors âgée de 71 ans*

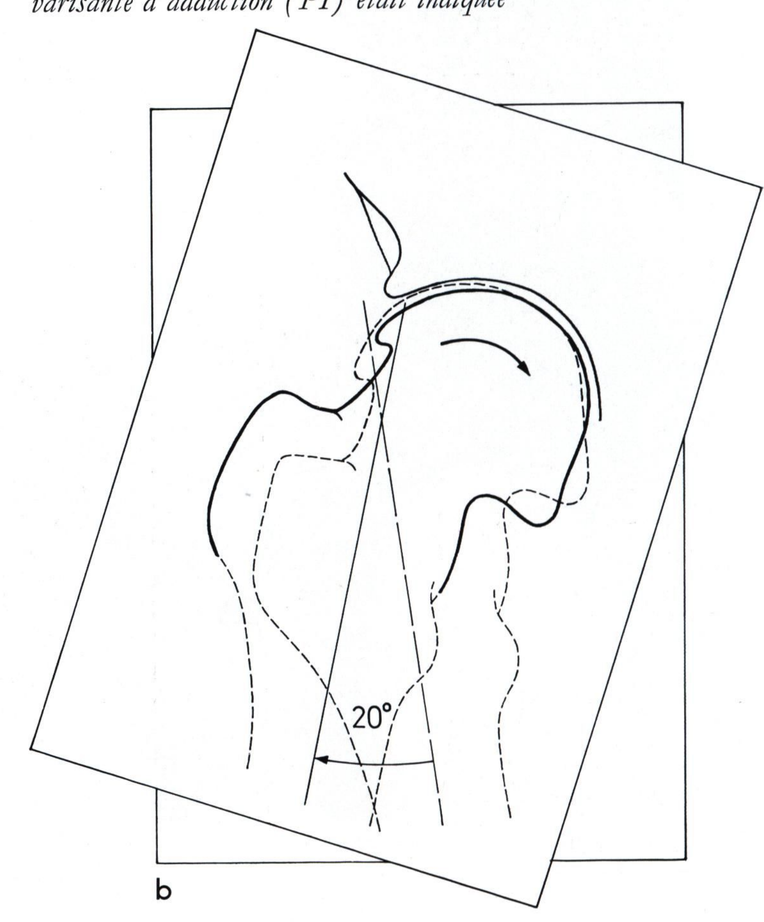
Fig. 238a
Début des douleurs. La radiographie ne montre pas encore de signe pathologique

Fig. 238b
Quatre ans plus tard, l'interligne articulaire est pincé au bord du cotyle. Condensation osseuse triangulaire dans le toit du cotyle

Fig. 238c, d
Durant les deux années suivantes, la sclérose s'est accentuée. Dégénérescence kystique progressive du tissu osseux avec effondrement du contour articulaire dans la zone où la pression est concentrée. Petit ostéophyte sous la fossette du ligament rond. D'après la préparation graphique de l'opération (Fig. 239a–d), l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) était indiquée



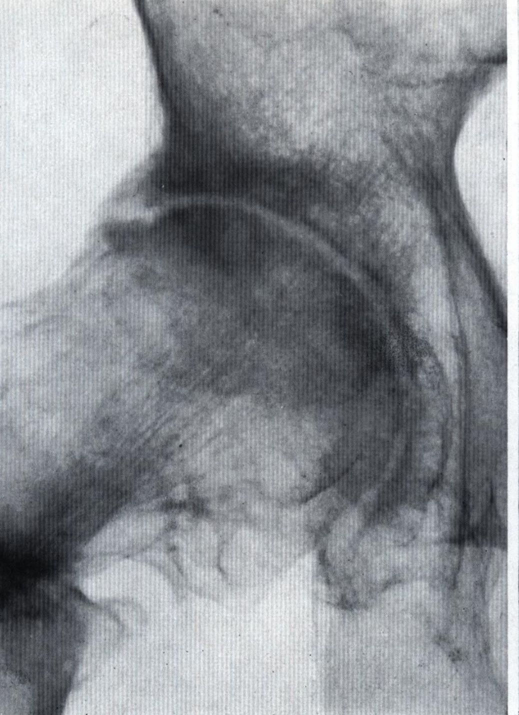
a



b

Fig. 239a–d





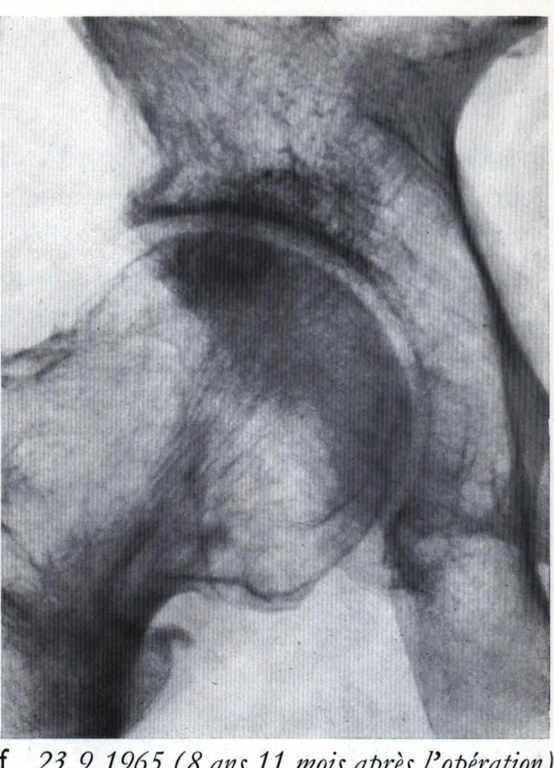
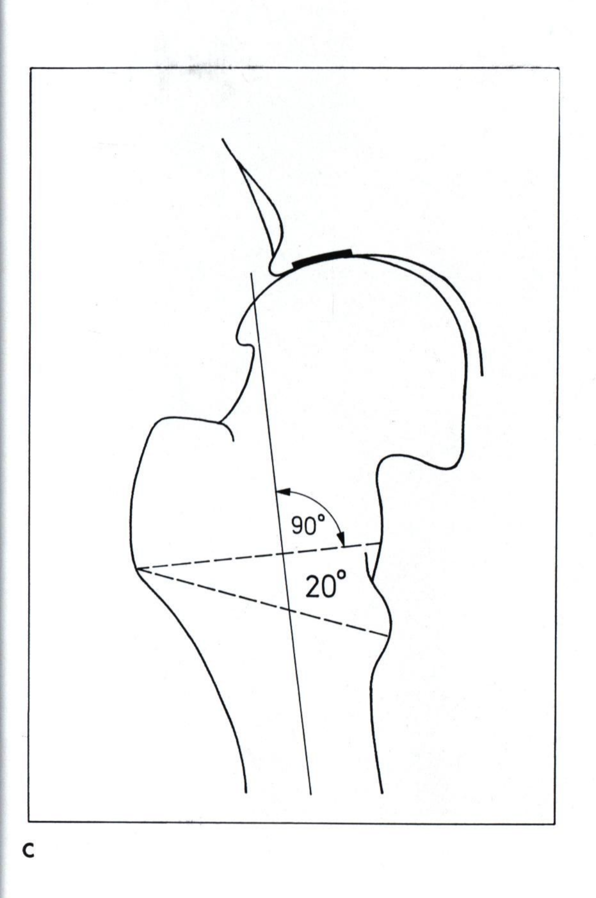
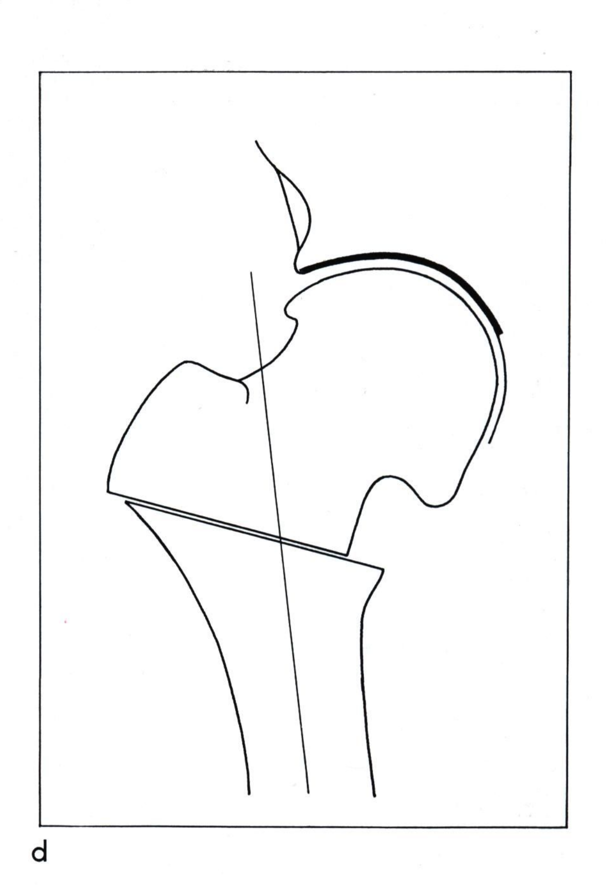


Fig. 238e
11 mois après l'ostéotomie varisante d'adduction. Régénération considérable de l'articulation avec régression de la sclérose. Les pseudo-kystes se sont comblés. Mince interligne articulaire avec persistance de discrètes irrégularités du contour de la tête fémorale au bord du cotyle

Fig. 238f
8 ans après l'opération. Régénération presque complète de l'articulation (comparer à la Fig. 238a avant le début des altérations pathologiques). L'interligne articulaire présente de nouveau une largeur normale. Les contours articulaires sont nettement délimités. Agée de 80 ans lors de mon dernier examen, la patiente ne souffrait absolument plus. La hanche se mobilisait et fonctionnait de façon pratiquement normale. La marche, même prolongée, s'effectuait sans canne et sans boîterie





e) Résultats de l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII)

Les deux premiers cas seront d'abord étudiés en détail car leur évolution différente est intéressante et instructive.

Sur les radiographies du cas fig. 240, les phénomènes productifs prédominent avec la formation d'un volumineux ostéophyte en goutte qui exerce un effet déterminant sur l'évolution de la coxarthrose.

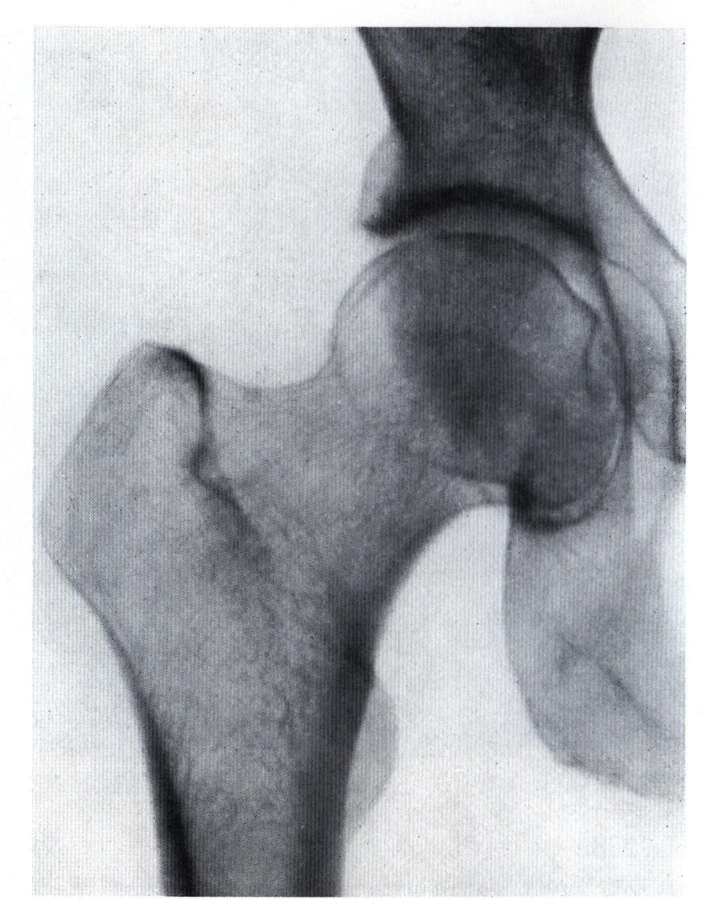
La maladie débuta chez la patiente âgée de 44 ans. L'ostéotomie valgisante d'abduction fut exécutée 12 ans plus tard.

La première radiographie (fig. 240a) montre encore une articulation de configuration normale. Seul l'interligne est un peu pincé au bord du cotyle où le sourcil est un peu élargi.

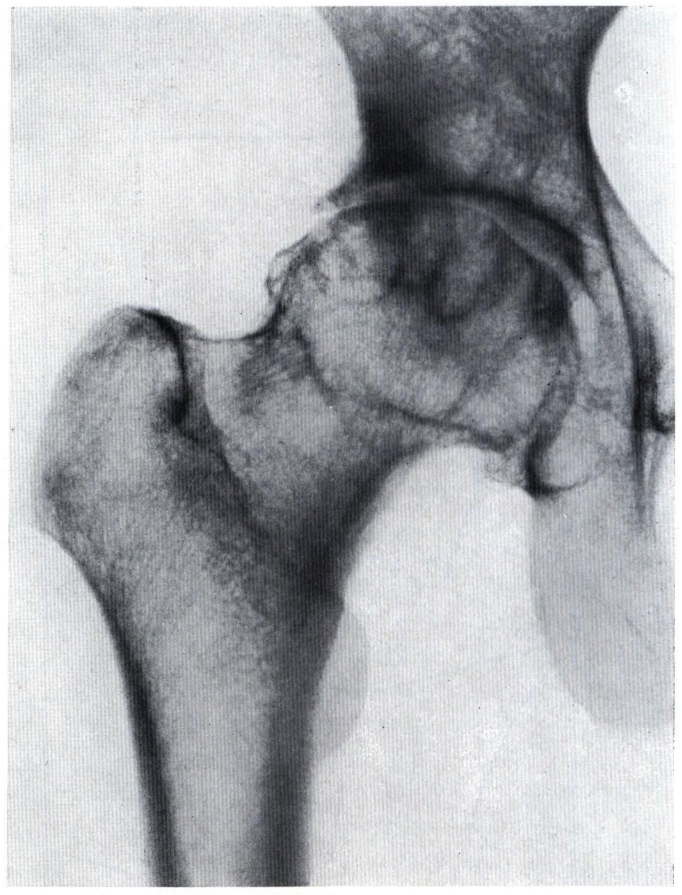
Environ un an plus tard (fig. 240b), l'interligne s'est nettement aminci en regard du bord du cotyle. Le sourcil est devenu triangulaire et, dans le toit de l'acetabulum, deux pseudo-kystes se sont creusés. Une mince couche osseuse s'est déposée, épousant le contour médial de la tête fémorale. C'est le premier signe de l'ossification enchondrale d'un ostéophyte en goutte qui était d'abord cartilagineux. Sa présence est responsable du début de subluxation de la tête fémorale. A son tour, celle-ci provoque l'augmentation et la concentration de la pression articulaire au bord du cotyle (voir les fig. théoriques 245a–c).

Les radiographies suivantes, de face fig. 240b–f et de profil fig. 241b–h, permettent de suivre en détail l'évolution de la coxarthrose et l'augmentation de volume de l'ostéophyte en goutte au cours des 10 années suivantes.

Pour mettre mieux encore en évidence ce développement de l'ostéophyte en goutte, les calques des radiographies en deux plans ont été rassemblés (fig. 242a et b).

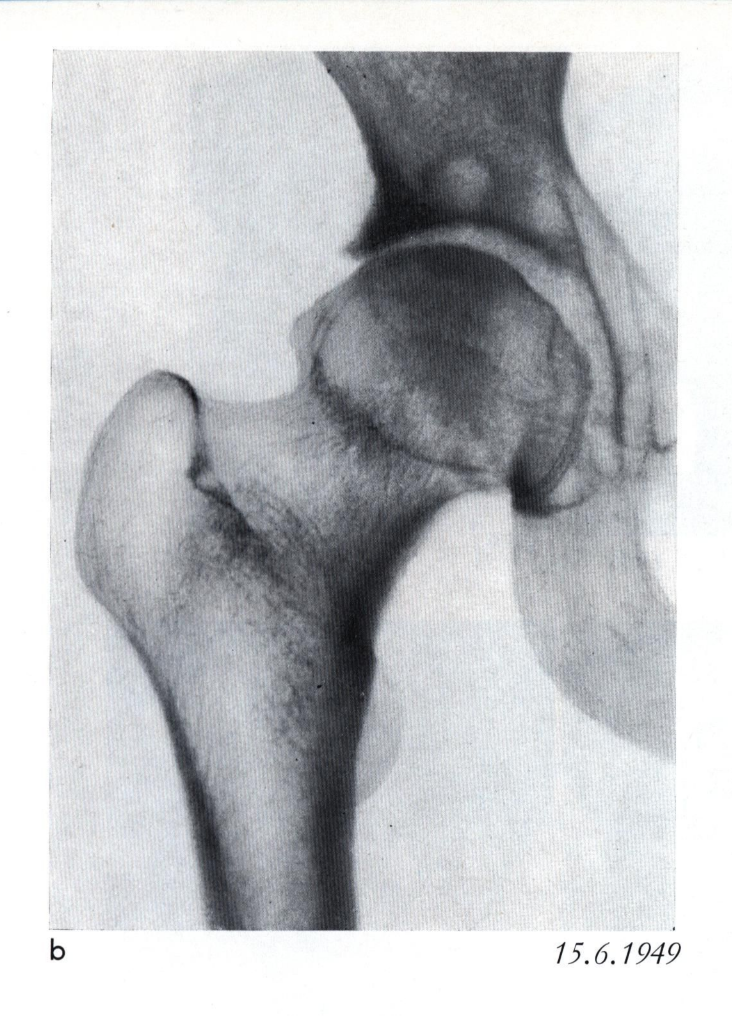


a *7.7.1948*

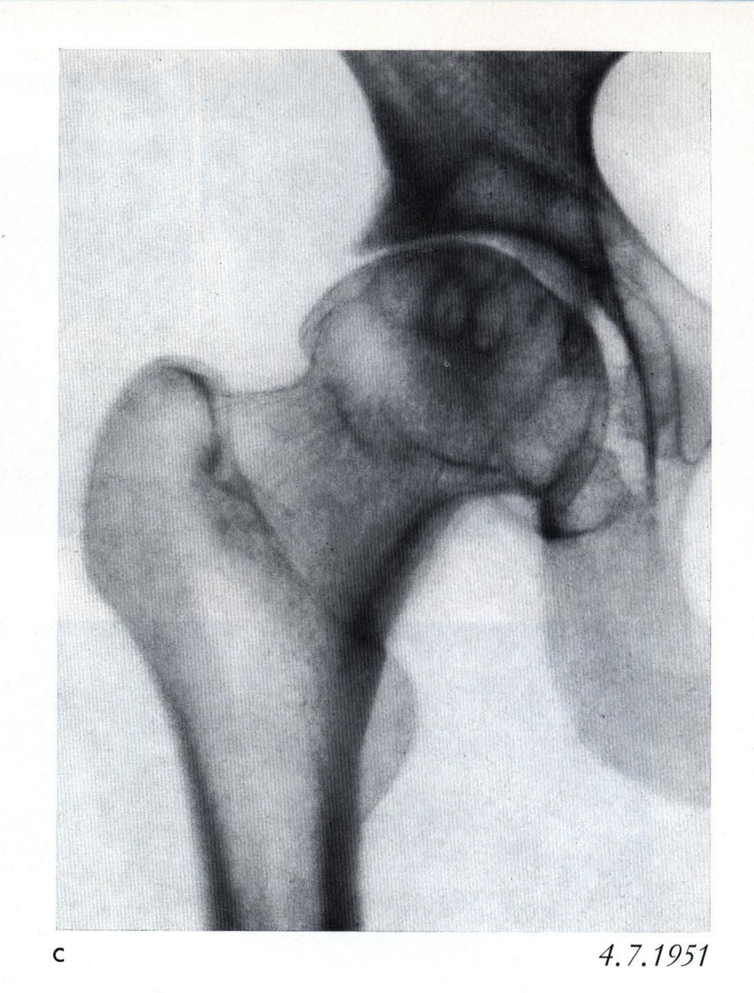


d *4.7.1952*

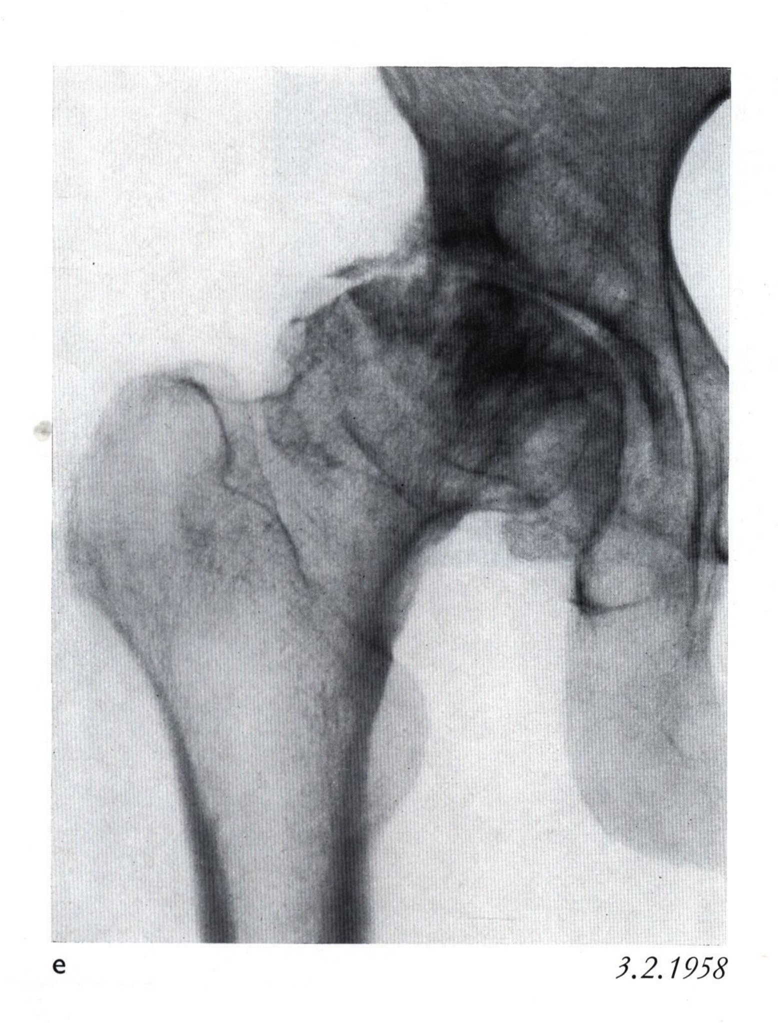
Fig. 240a–f
M.Ch., ♀, née le 14.2.1904



b *15.6.1949*



c *4.7.1951*



e *3.2.1958*



f *9.12.1959*

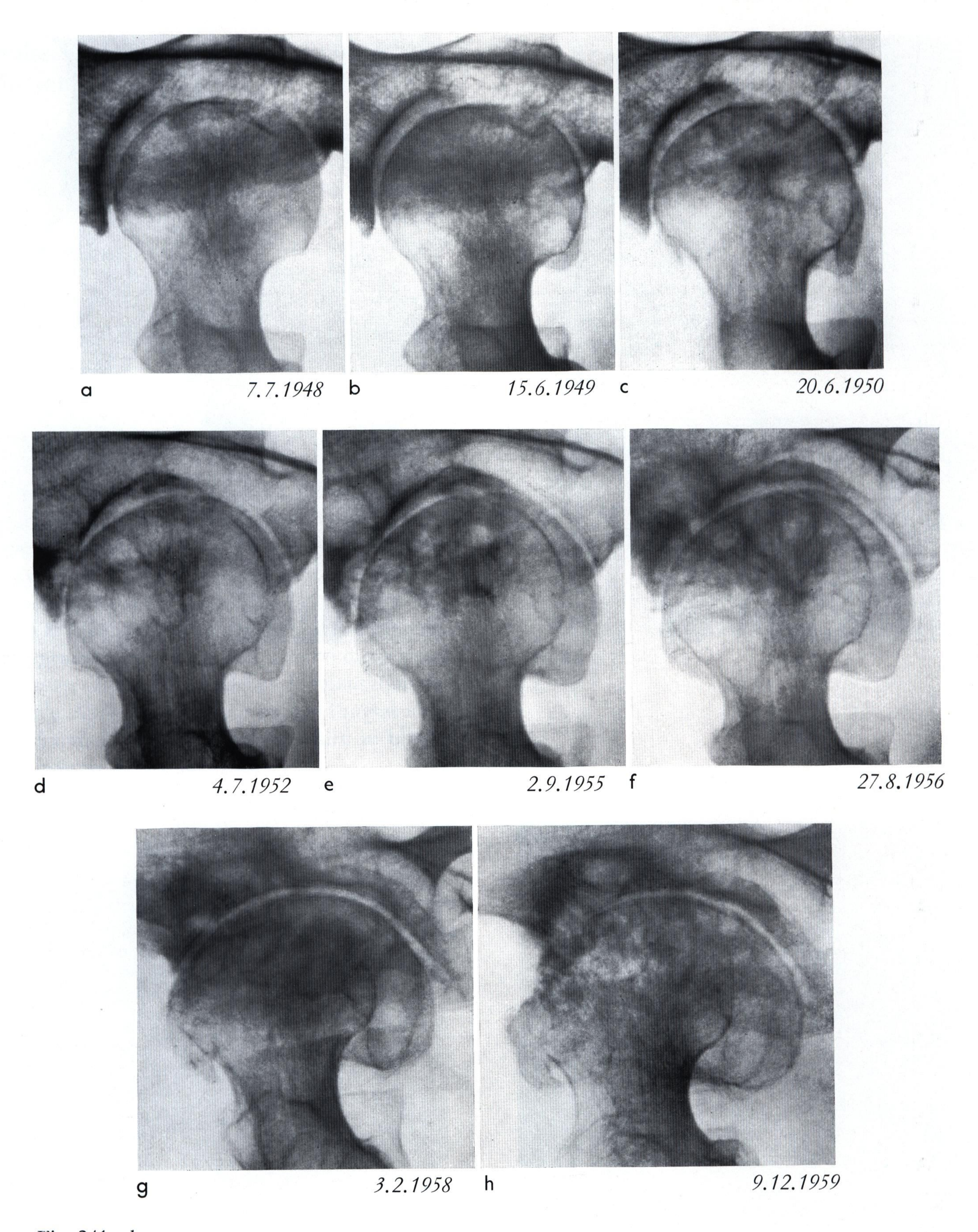

a
7.7.1948
b
15.6.1949
c
20.6.1950
d
4.7.1952
e
2.9.1955
f
27.8.1956
g
3.2.1958
h
9.12.1959

Fig. 241 a–h

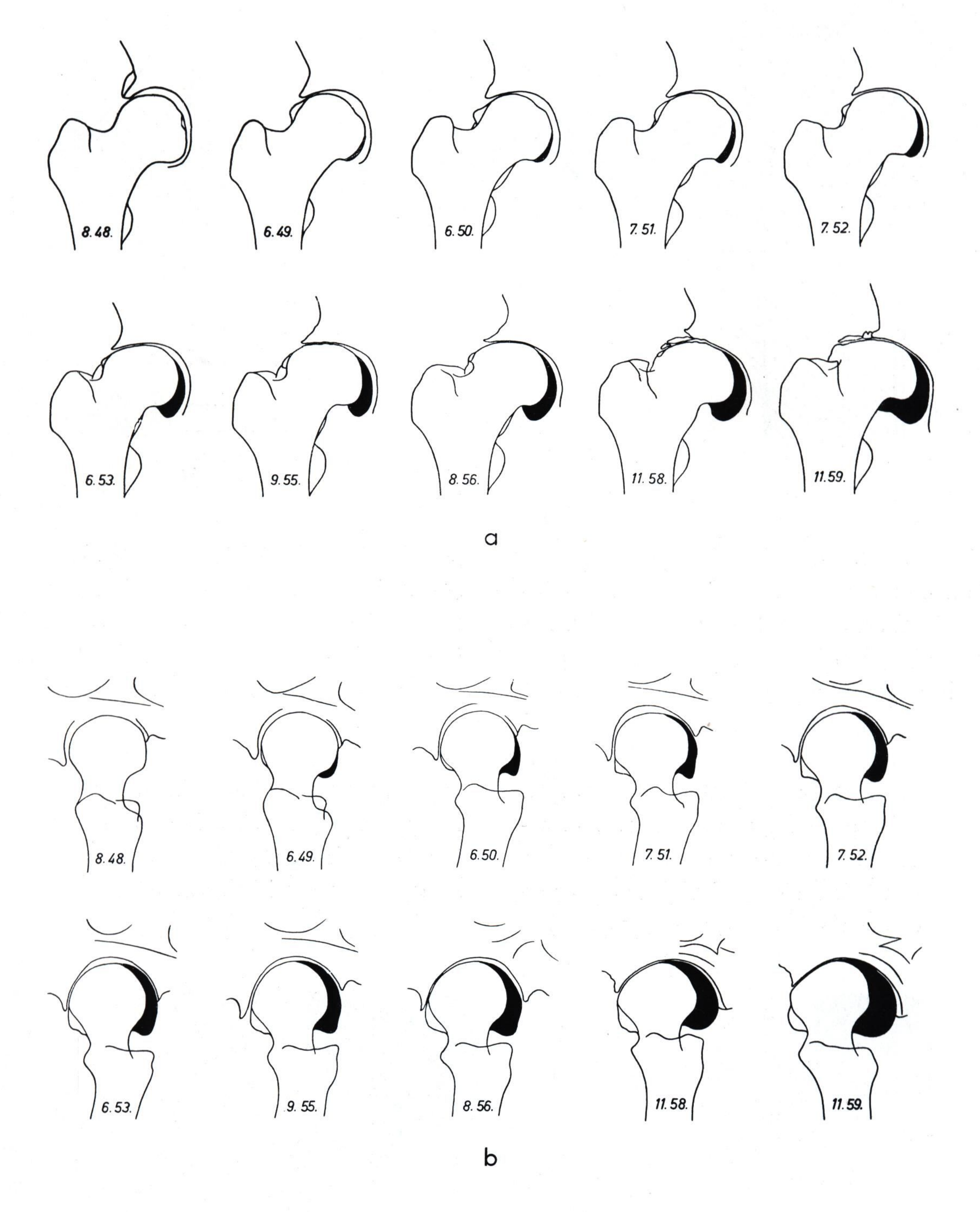
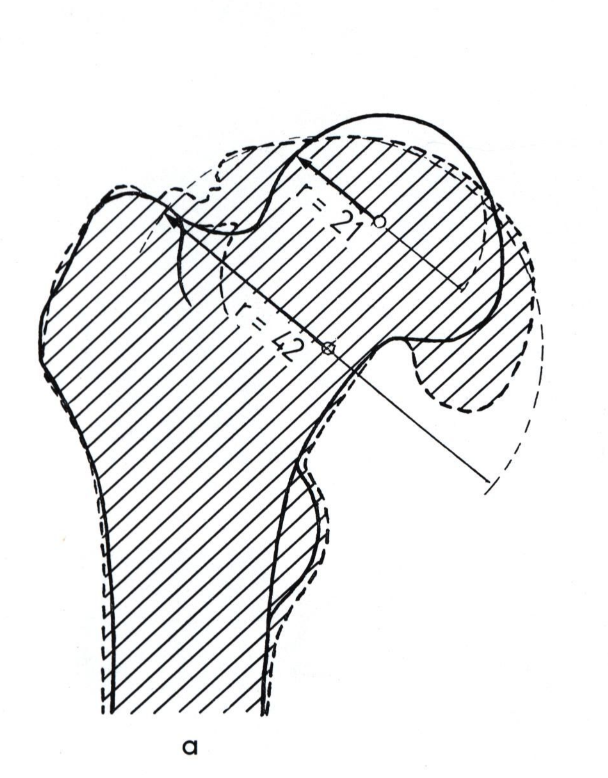

8.48.
6.49.
6.50.
7.51.
7.52.
6.53.
9.55.
8.56.
11.58.
11.59.
a
8.48.
6.49.
6.50.
7.51.
7.52.
6.53.
9.55.
8.56.
11.58.
11.59.
b

Fig. 242a et b



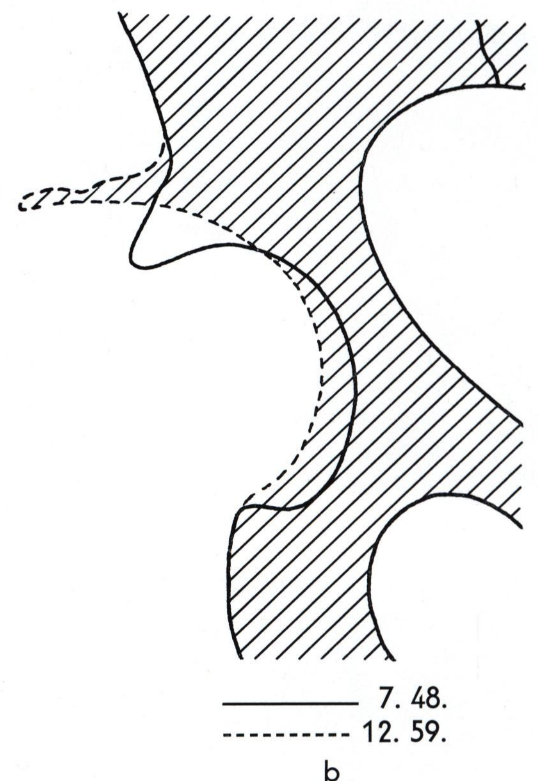
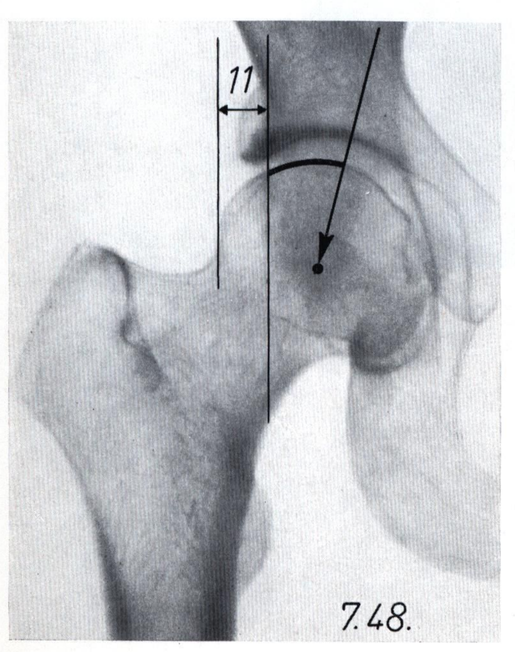
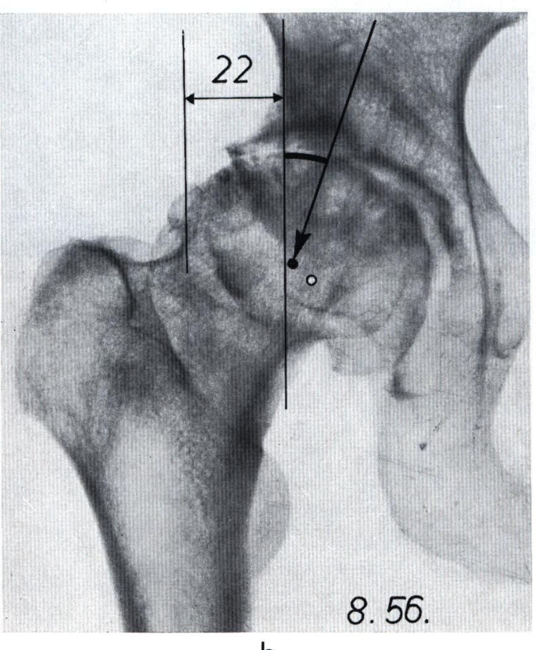


Fig. 243a et b a b

L'augmentation de volume de l'ostéophyte en goutte a presque doublé le diamètre de la tête fémorale et a éloigné cette dernière du fond du cotyle (fig. 243a et b). Au cours de ces altérations, la distance séparant le contour latéral de la tête du bord du cotyle est passée de 11 à 22 mm, puis finalement à 26 mm (fig. 244a–c). A cause de la subluxation de la tête fémorale, la force de compression résultante s'est progressivement rapprochée du bord du cotyle. En conséquence, malgré l'agrandissement de la surface articulaire, la surface portante de l'articulation est devenue de plus en plus exiguë et la pression articulaire de plus en plus grande (dans le dessin théorique fig. 245, la pression passe de 51 kg/cm² à 190 kg/cm²). Un tel accroissement de la pression provient de ce que la largeur de la surface portante articulaire ne peut dépasser trois fois la distance entre la force de compression résultante et le bord du cotyle, même si les surfaces de l'articulation sont bien congruentes (voir page 132).

La surface portante est réduite et la pression articulaire augmentée malgré l'accroissement de la surface de l'articulation. Ce fait, paradoxal de prime abord, est confirmé par la progression des altérations pathologiques qui apparaissent de façon particulièrement claire sur les dernières radiographies de face et de profil (fig. 240e et f, fig. 241g et h).





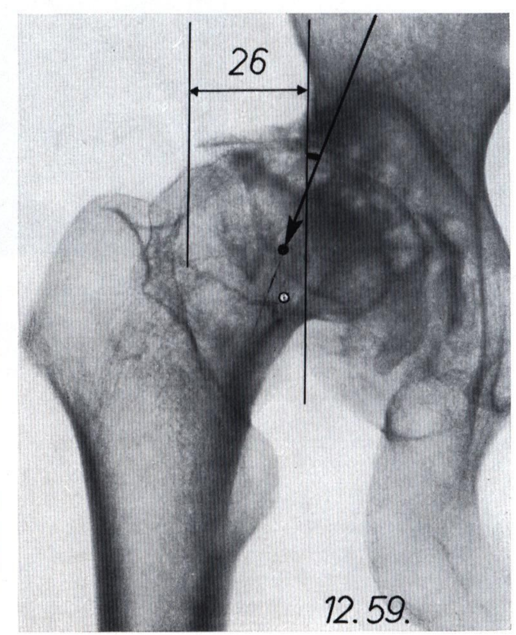


Fig. 244a–c a b c

51 kp/cm²
7. 48.
a
89 kp/cm²
8. 56.
b
190 kp/cm²
12. 59.
c

Fig. 245a–c

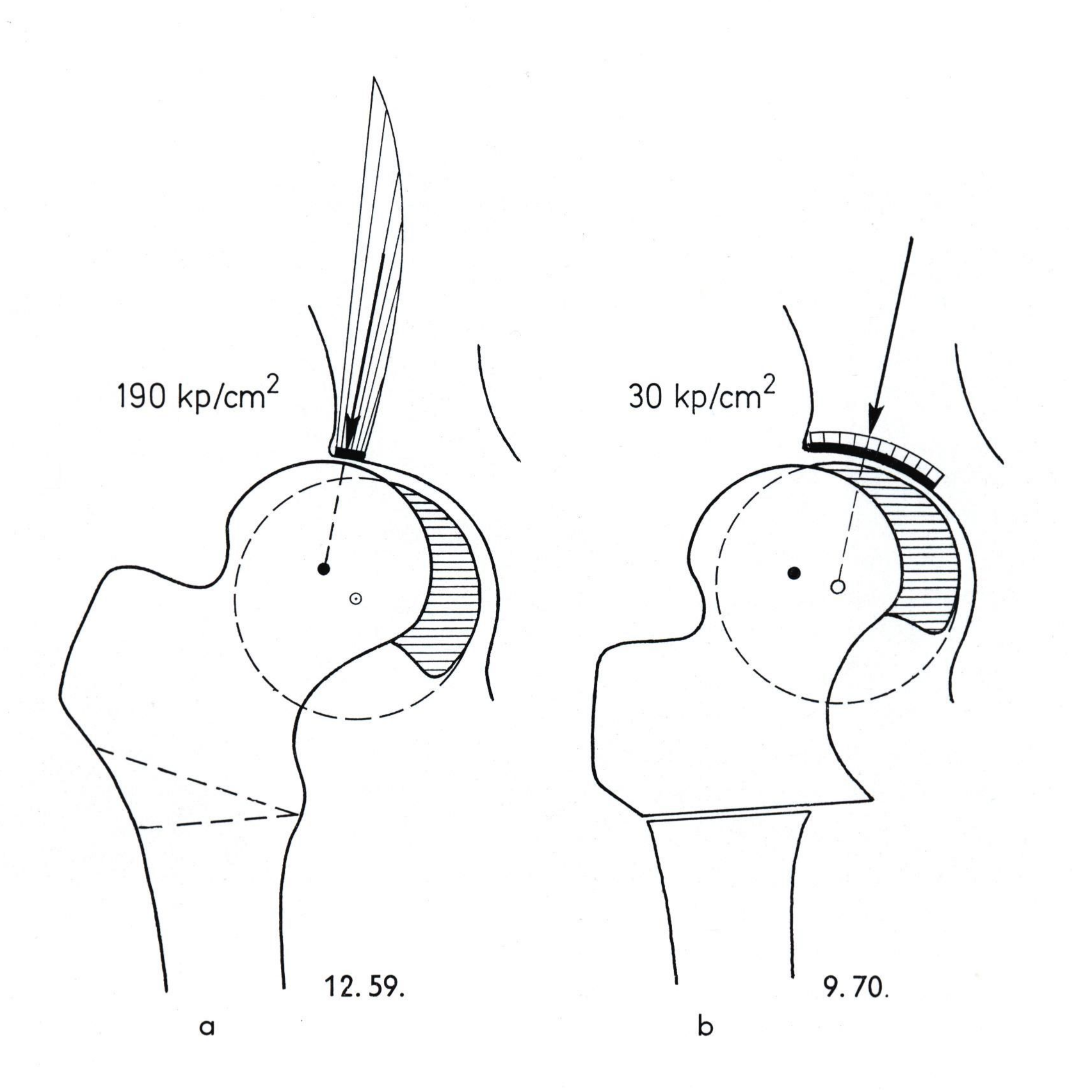


Fig. 246a et b

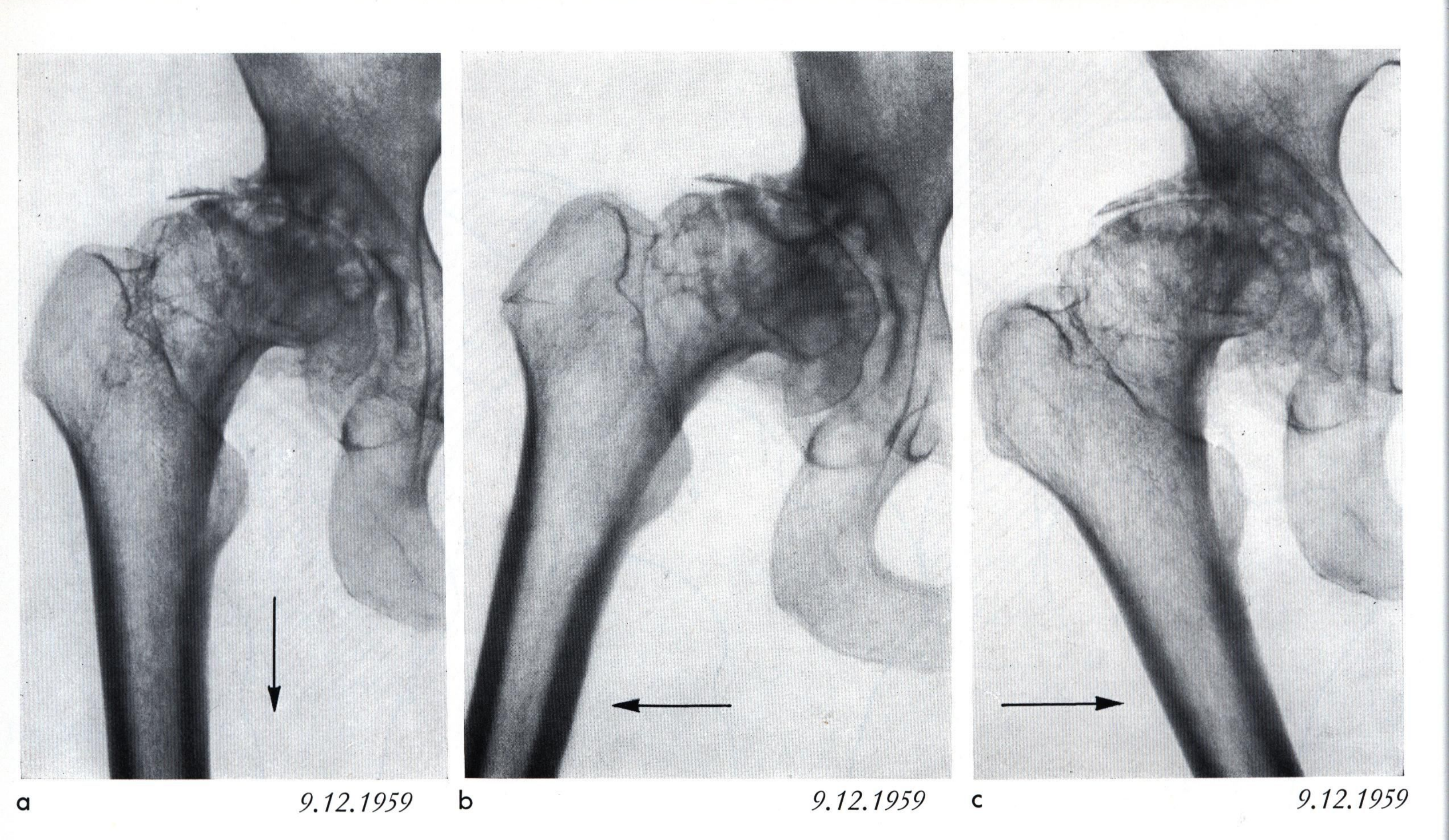


Fig. 247a–c
Radiographies dans trois positions pour la préparation de l'opération

J'ai opéré la patiente alors âgée de 56 ans. Comme les radiographies prises dans les trois positions ne permettaient pas une estimation claire des contours articulaires (fig. 247a–c), le dessin préopératoire fut tracé aussi bien pour l'ostéotomie varisante d'adduction que pour l'ostéotomie valgisante d'abduction (fig. 248b et c). Il montre que l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) est indiquée. Par souci de sécurité, les radiographies en ab- et en adduction furent répétées sous narcose juste avant l'opération, après relâchement de l'articulation par traction et ténotomie des adducteurs (fig. 249). Elles confirmèrent la préparation graphique qui fut utilisée pour l'exécution de l'opération. (Dans les schémas [fig. 246a et b], le diagramme des contraintes indique combien, dans ce cas, l'accroissement de la surface portante peut réduire la pression articulaire.)

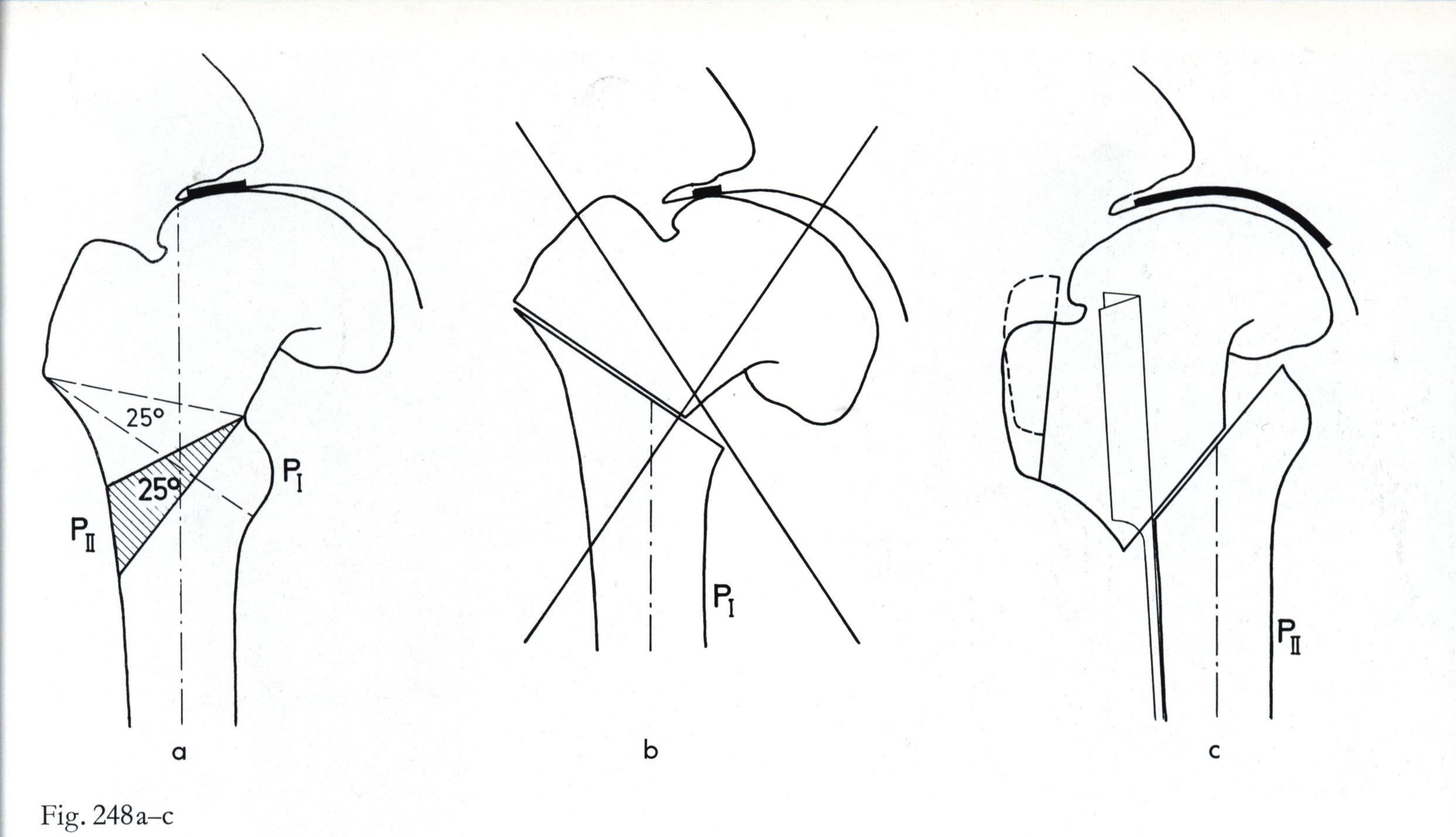


Fig. 248a–c

a *7.1.1960* b *7.1.1960* c *7.1.1960*

Fig. 249a–c
Radiographies dans trois positions sur la table d'opération



a 9.12.1959

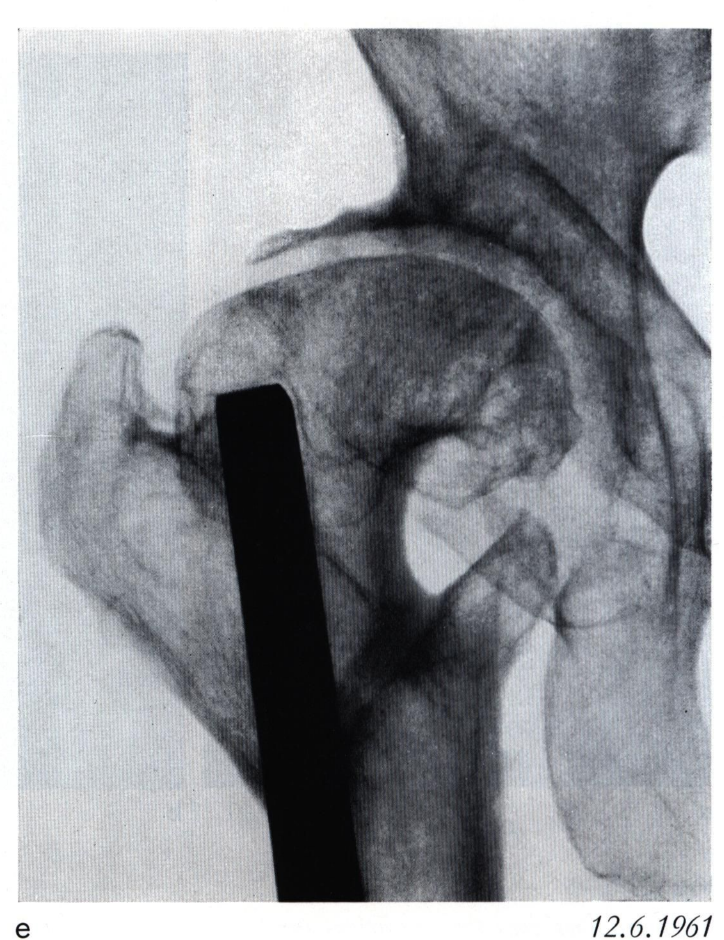
b 27.1.1960

Fig. 250a–g
M.Ch., ♀, née le 14.2.1904,
Opération le 7.1.1960 (à l'âge de 55 ans et 11 mois)

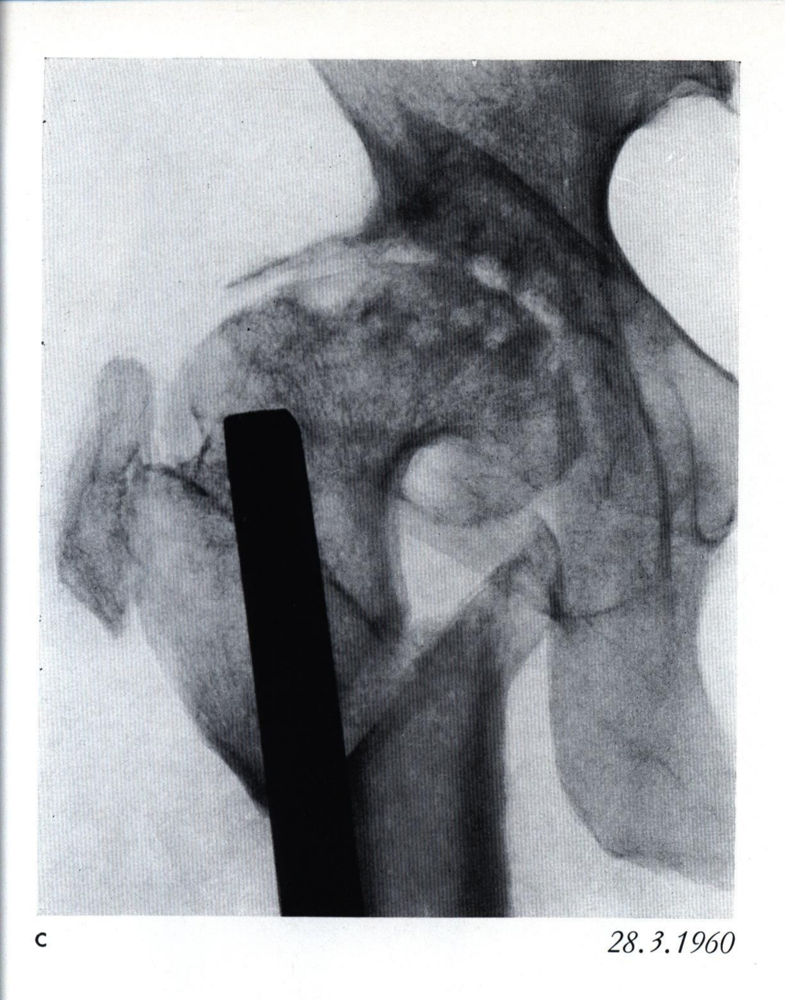
Les radiographies (250b–g) montrent la régénération postopératoire de l'articulation. Neuf mois déjà après l'intervention, les pseudo-kystes dans la tête et le cotyle sont comblés et un large interligne, bien délimité, est réapparu (fig. 250d).

La dernière radiographie, prise 10 ans et 8 mois après l'opération (fig. 250g), met en évidence la régénération complète de l'articulation. Les mouvements sont normaux. La douleur a disparu. La patiente mène la vie active d'une ménagère.

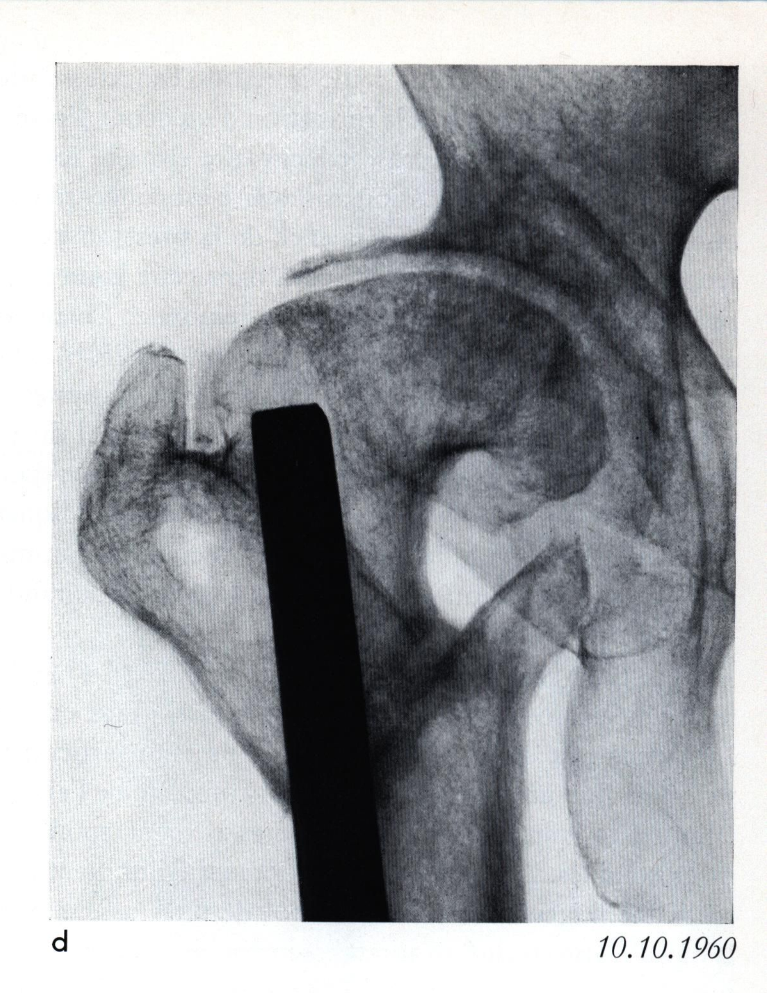
Chez la patiente suivante, âgée de 62 ans et souffrant de coxarthrose secondaire spécialement grave, ce sont les altérations tissulaires dégénératives qui prédominent. Elles s'expriment par le creusement d'énormes pseudokystes dans la tête, dans le col et dans le toit du cotyle.



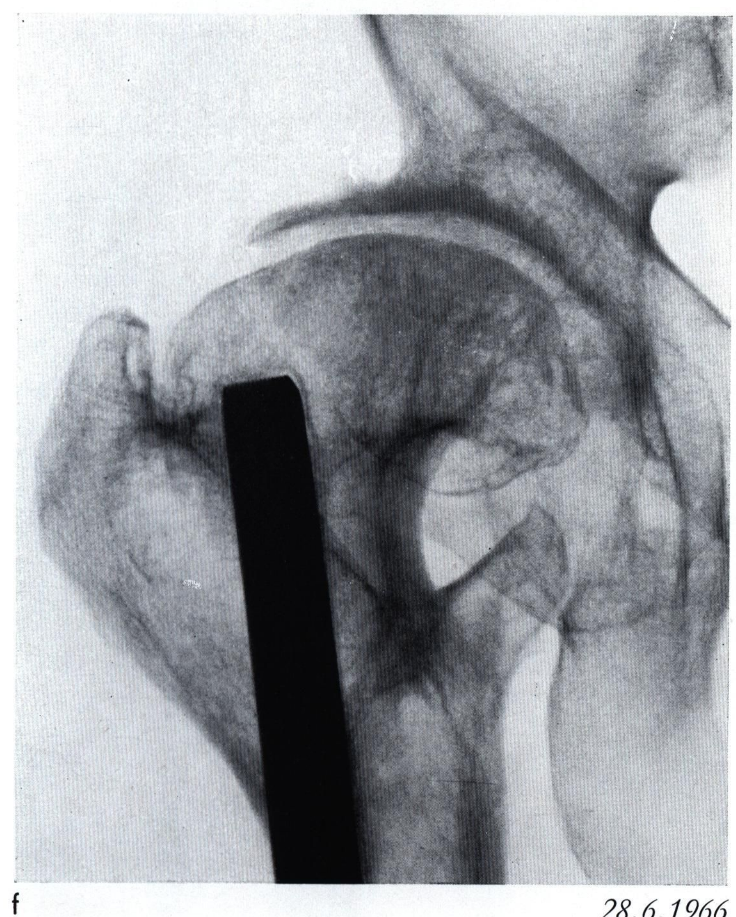
e 12.6.1961

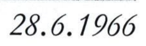


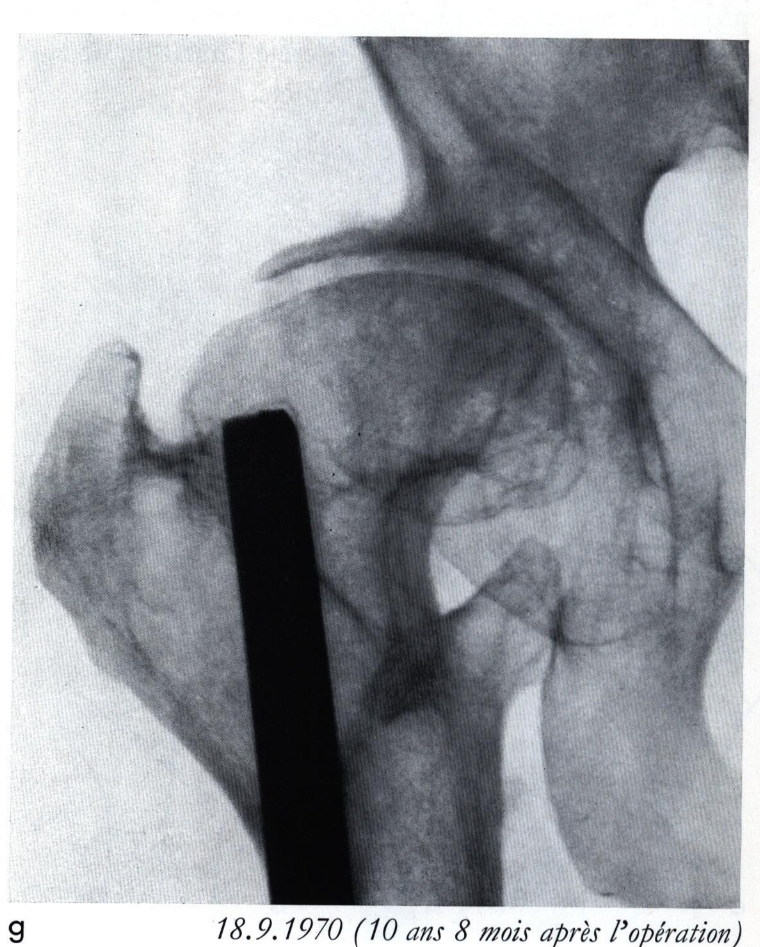
c *28.3.1960*



d *10.10.1960*



f  *28.6.1966*



g *18.9.1970 (10 ans 8 mois après l'opération)*

La fig. 251a montre le stade initial de l'affection, une discrète subluxation due à la formation d'un début d'ostéophyte en goutte. La sclérose triangulaire dans le toit du cotyle indique que la pression articulaire est concentrée au bord de l'acetabulum. Conséquence de la pression exagérée, le cartilage articulaire a disparu dans cette zone et un pseudokyste s'est creusé dans la tête fémorale. En un an son volume a considérablement augmenté (fig. 251b). Durant les 6 années suivantes, d'autres gros pseudo-kystes se sont développés. Ils occupent toute la tête, le col du fémur et une grande partie du toit du cotyle. C'est à ce stade très avancé que la patiente fut opérée. Comme l'indiquait la préparation graphique (fig. 252), c'était l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui s'imposait pour agrandir la surface portante de l'articulation.

Les radiographies postopératoires (fig. 252d–f) le démontrent, même dans une coxarthrose aussi grave et à un âge avancé, la seule réduction de la pression articulaire rend possible une régénération quasi complète de l'articulation. Les volumineux pseudo-kystes se sont spontanément comblés. L'interligne est nettement délimité et présente une largeur normale. Le dépôt de tissu osseux dans la capsule a provoqué un agrandissement bien congruent du toit du cotyle. Une mince bande scléreuse dans celui-ci s'étend sur une grande partie de l'articulation. Elle traduit la réduction considérable et la répartition uniforme de la pression articulaire. Quinze ans après l'opération, la hanche reste indolore. La patiente marche sans canne et peut se promener une heure sans fatigue. Elle entretient normalement son ménage. A part une discrète limitation de la rotation, les mouvements sont complets.

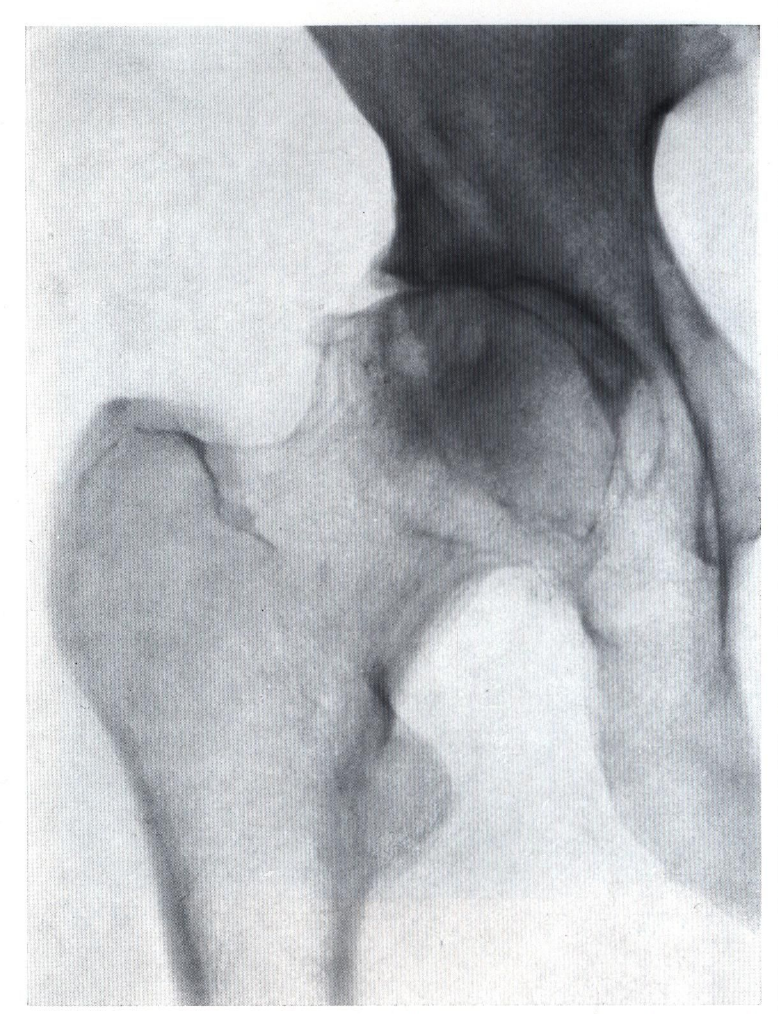
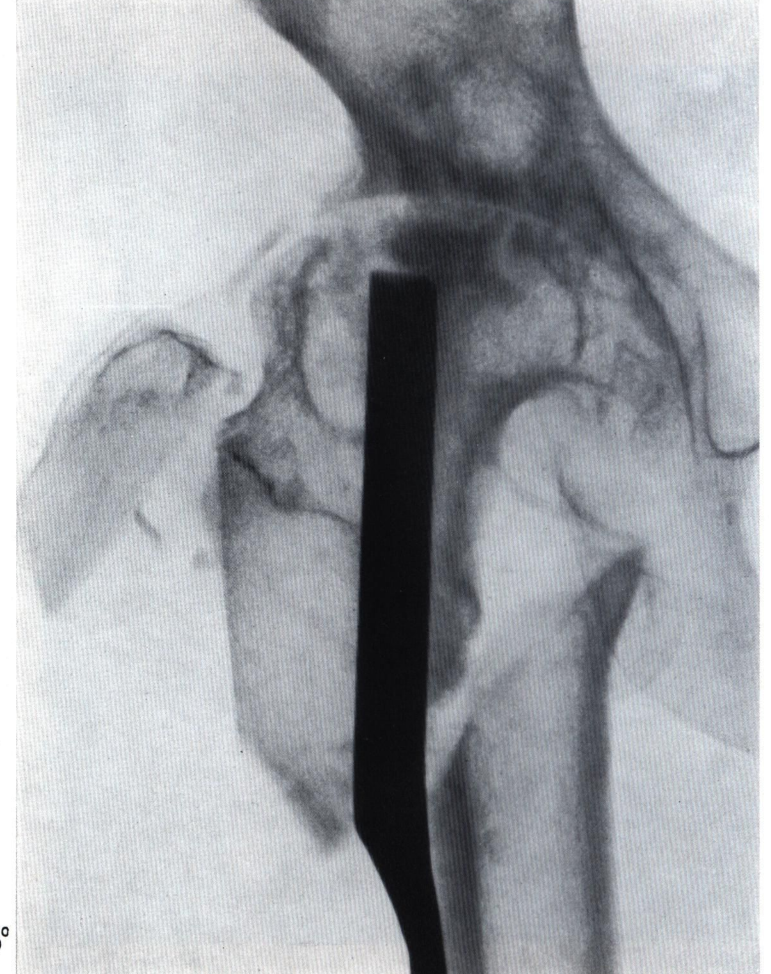


Fig. 251a–f. *H.G., ♀, née le 7.1.1896,* a *21.3.1951*
Opération le 19.8.1958 (à l'âge de 62 ans et 7 mois)



d *20.5.1959*

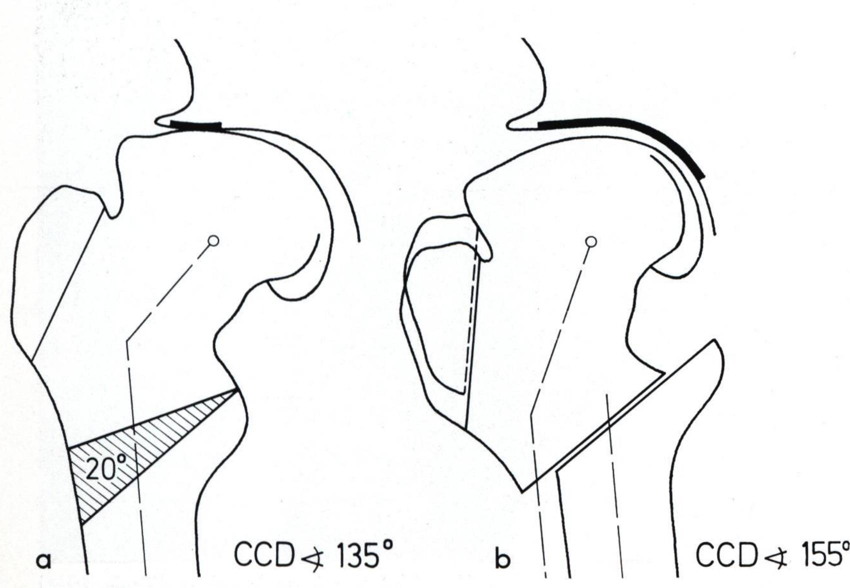
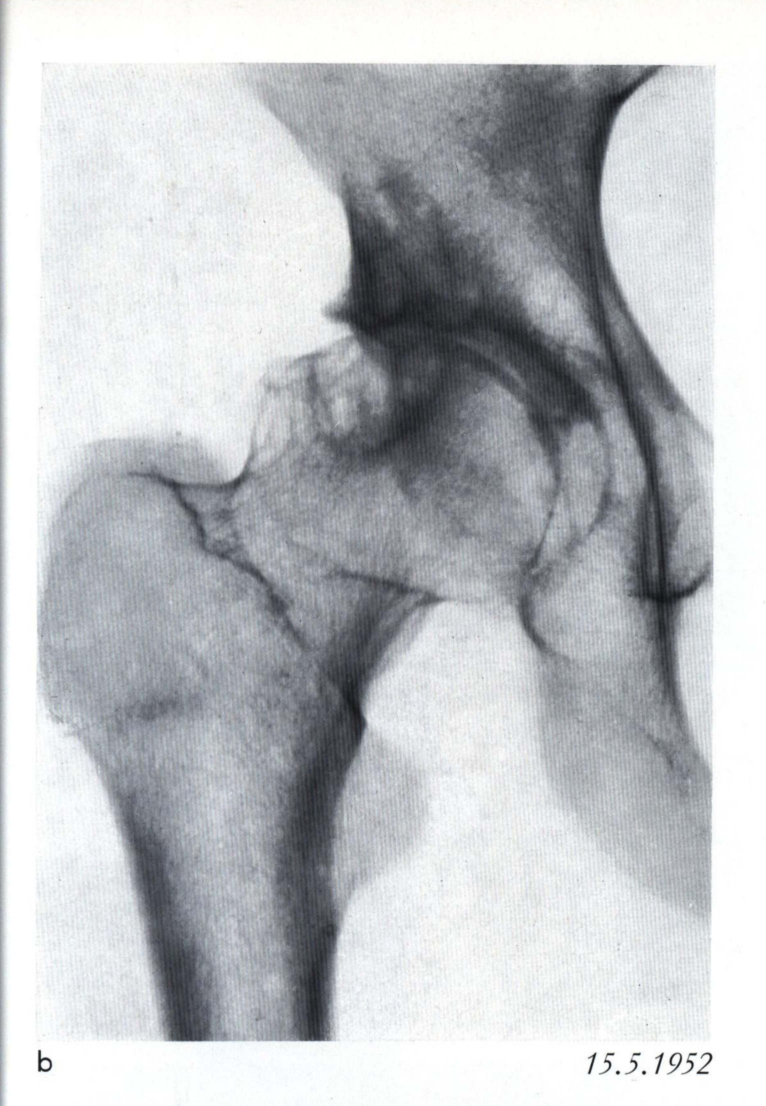


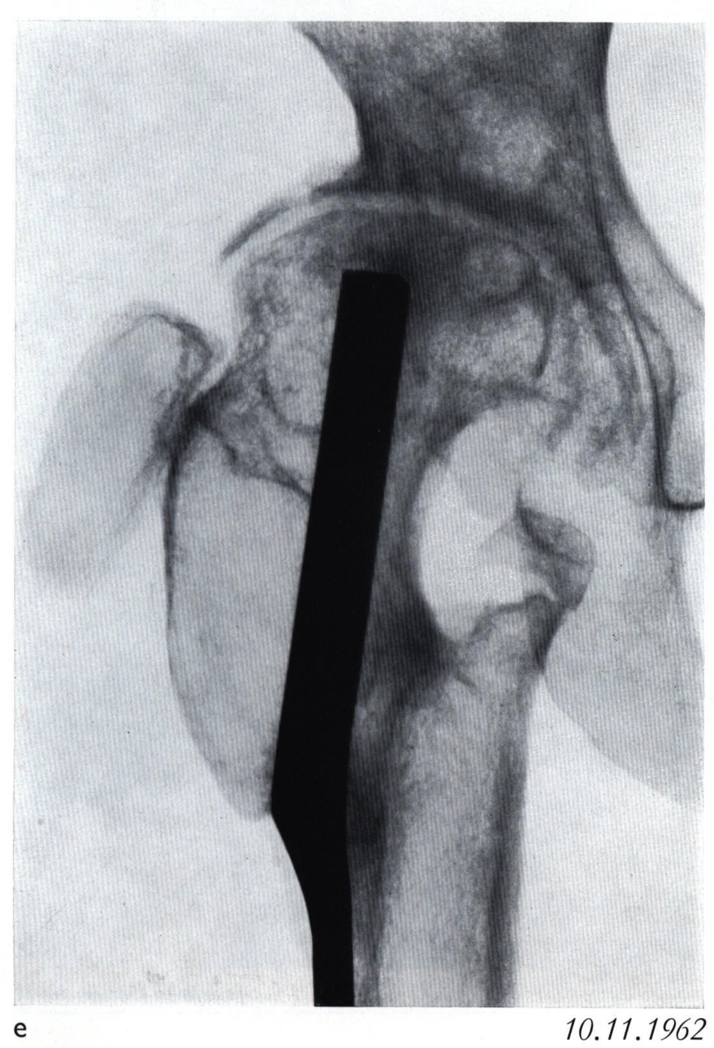
Fig. 252a et b



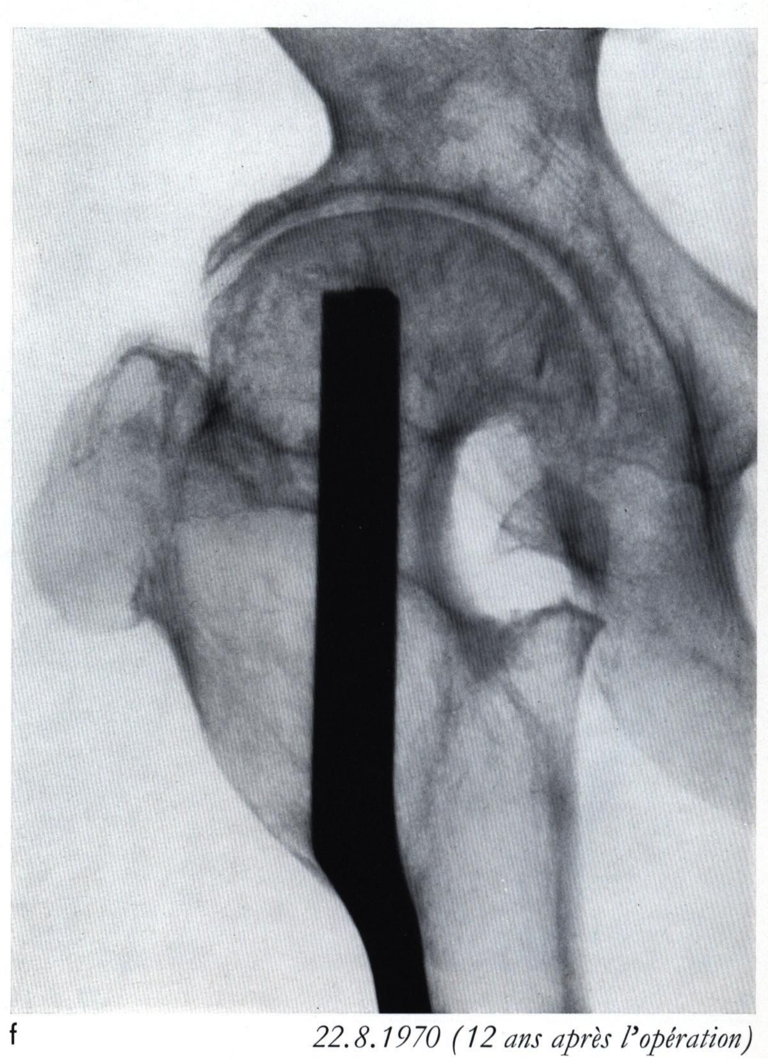
b *15.5.1952*



c *15.8.1958*



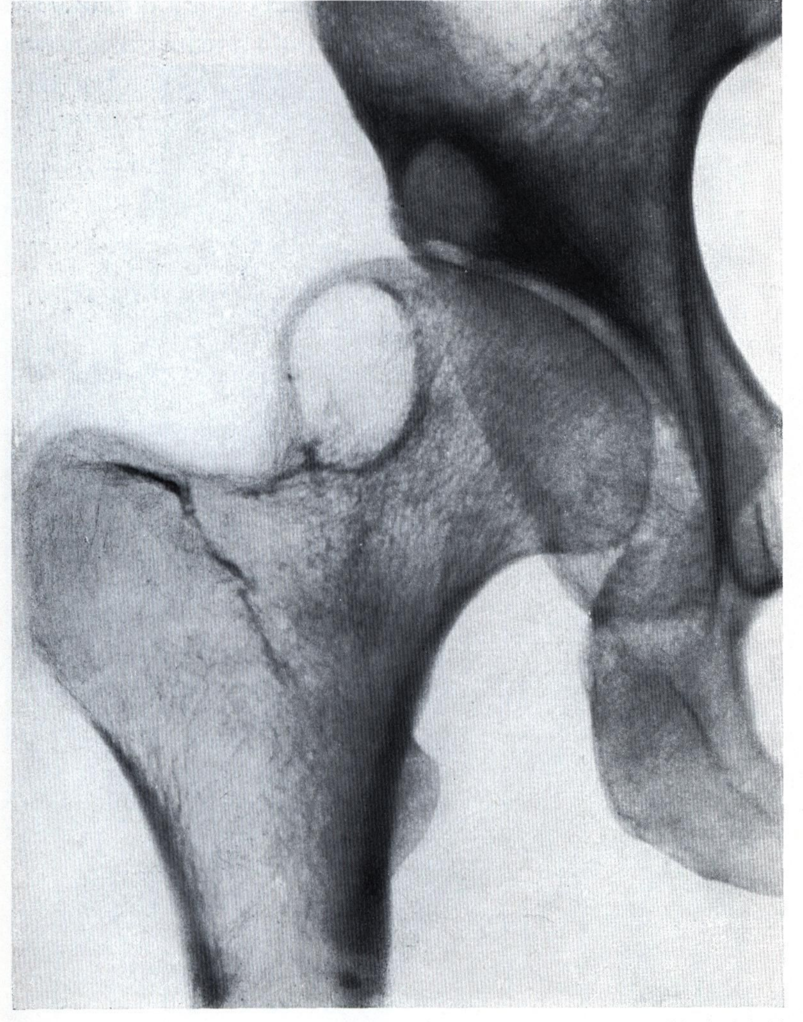
e *10.11.1962*



f *22.8.1970 (12 ans après l'opération)*

Dans les 16 cas suivants (fig. 253–273), altérations tissulaires productives et altérations dégénératives prennent une part variable. Les résultats démontrent que, si l'indication est correcte et l'opération exactement réalisée, l'ostéotomie d'abduction (PII) peut entraîner la régénération, même dans des coxarthroses très avancées. Les patients, dont l'âge varie entre 34 et 69 ans, ne souffrent plus et sont satisfaits des mouvements et de la capacité fonctionnelle de leur hanche.

Fig. 253a et b
D.D., ♀, née le 1.8.1926,
Opération le 10.2.1961 (à l'âge de 34 ans et 5 mois)



a *21.1.1961* b *21.2.1966 (5 ans après l'opération)*

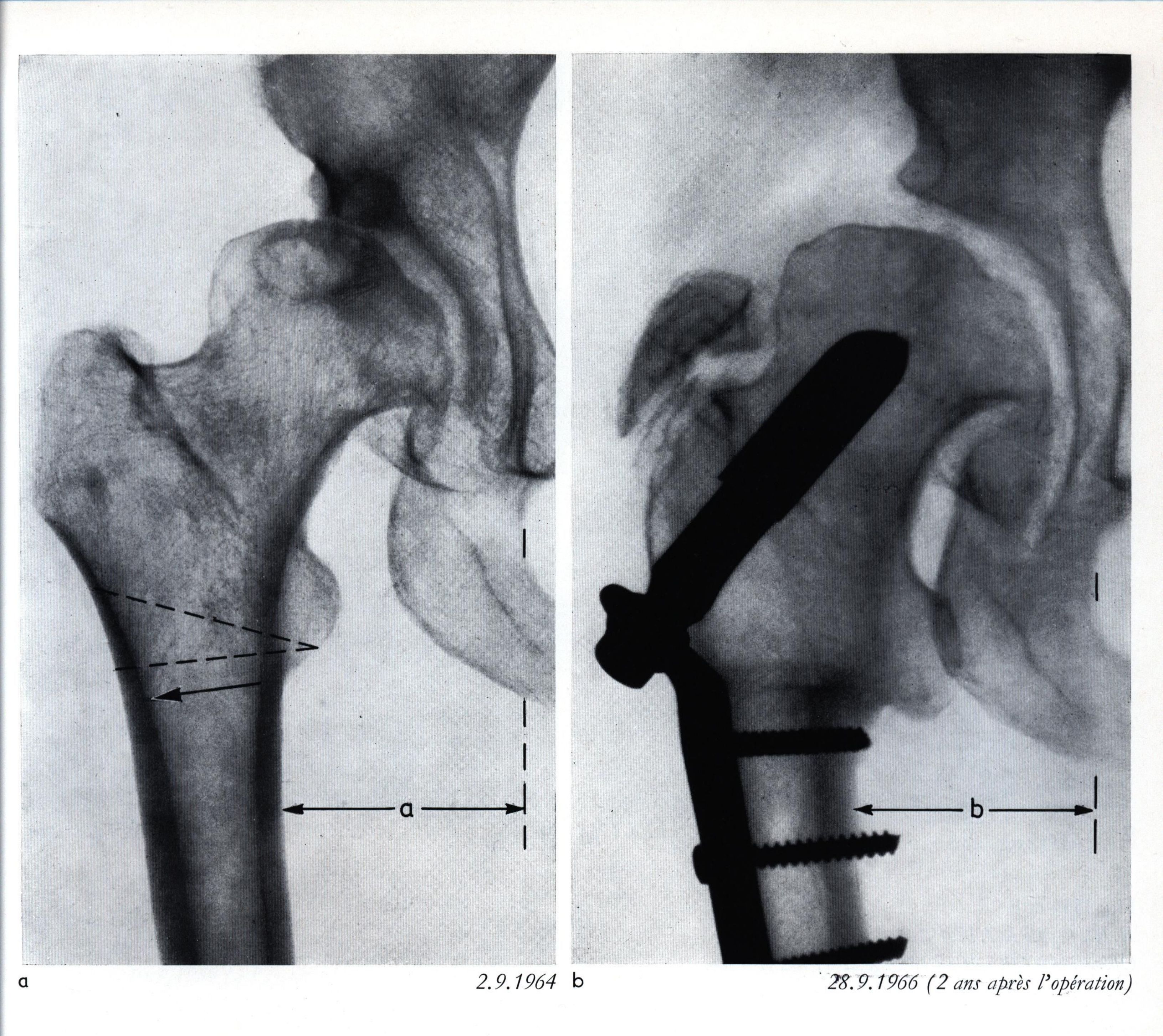
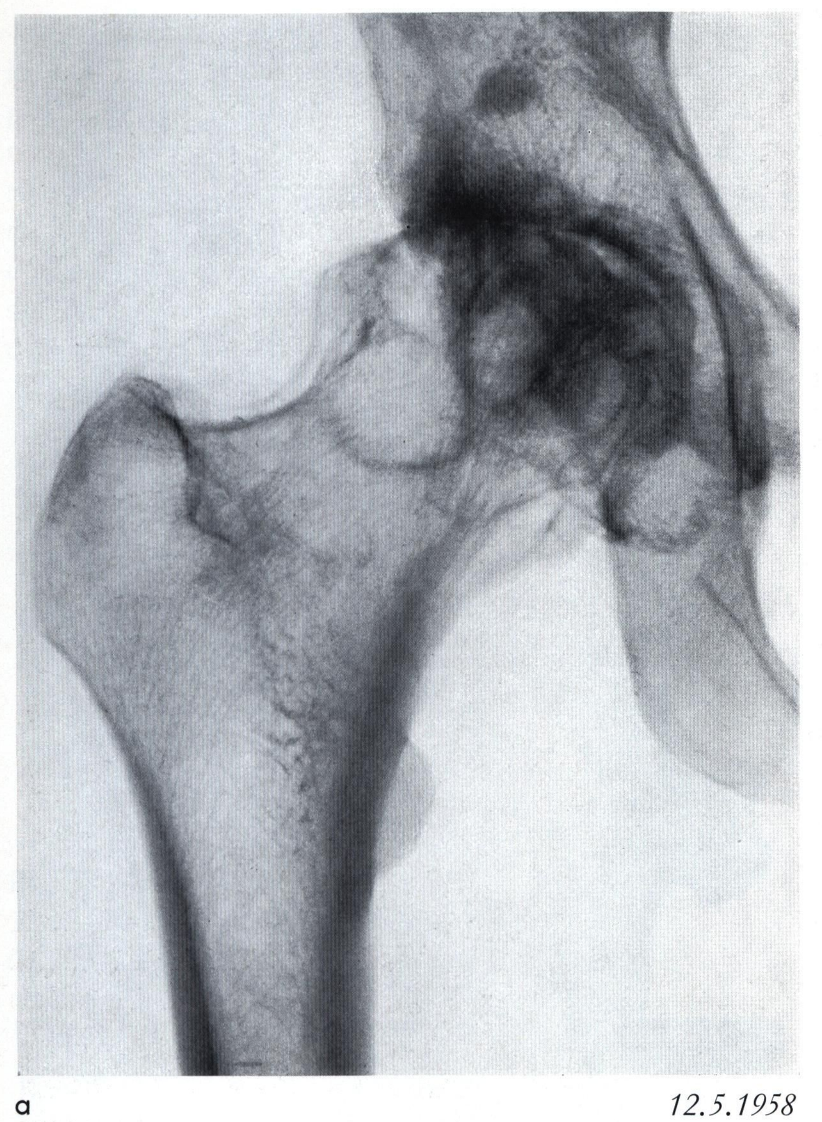
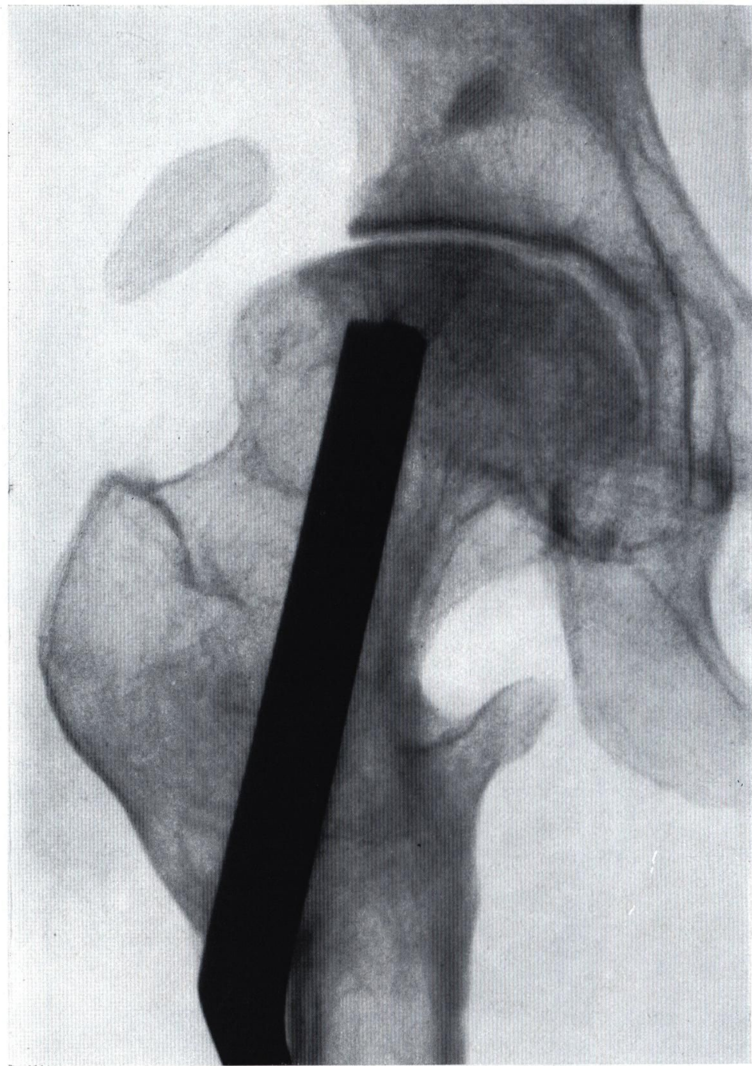


Fig. 254a et b
H.A., ♀, née le 23.9.1929,
Opération le 14.9.1964 (à l'âge de 35 ans)

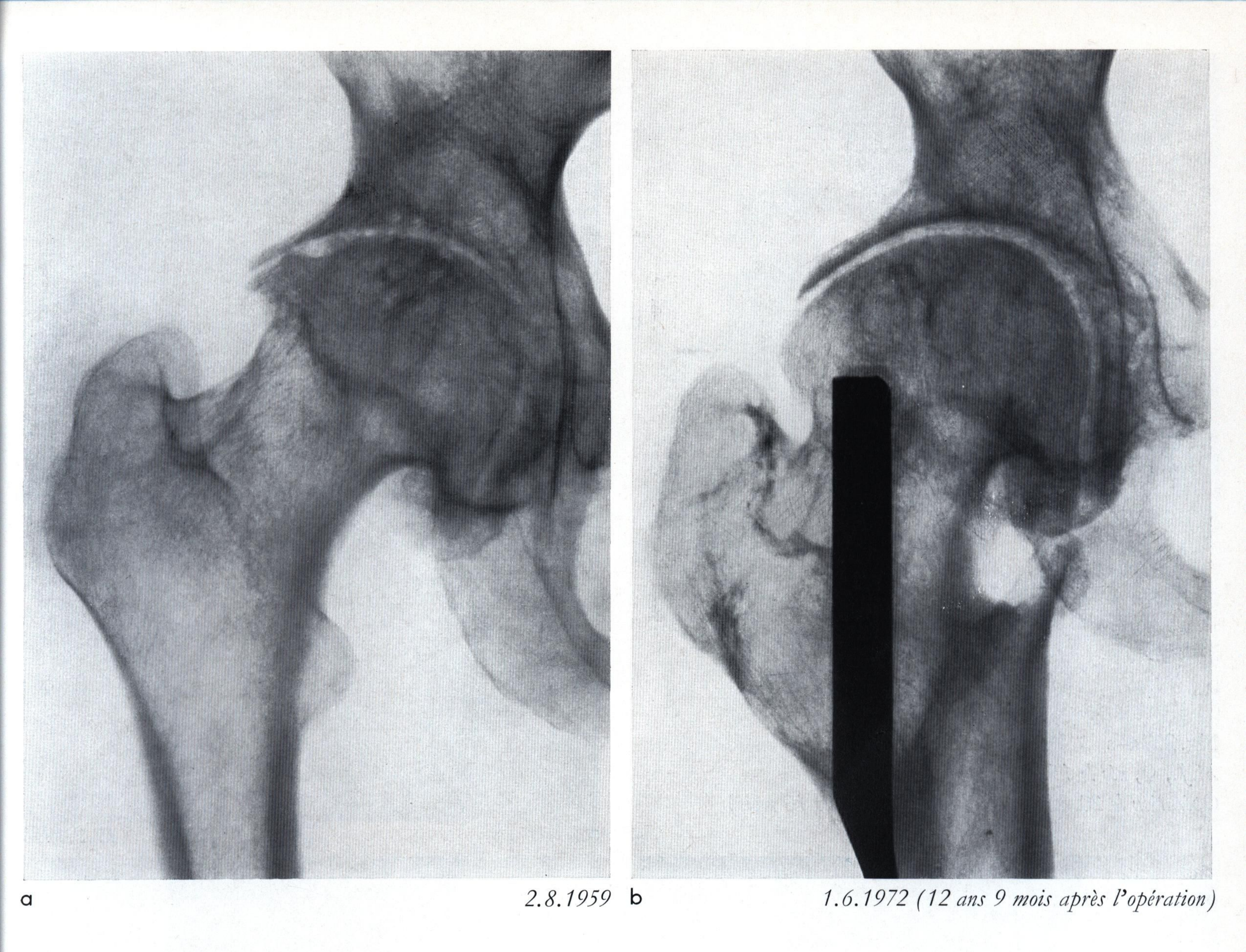


a 12.5.1958



b 16.2.1968 *(9 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 255a et b
R.E., ♀, née le 7.12.1916,
Opération le 20.5.1958 (à l'âge de 41 ans et 5 mois)

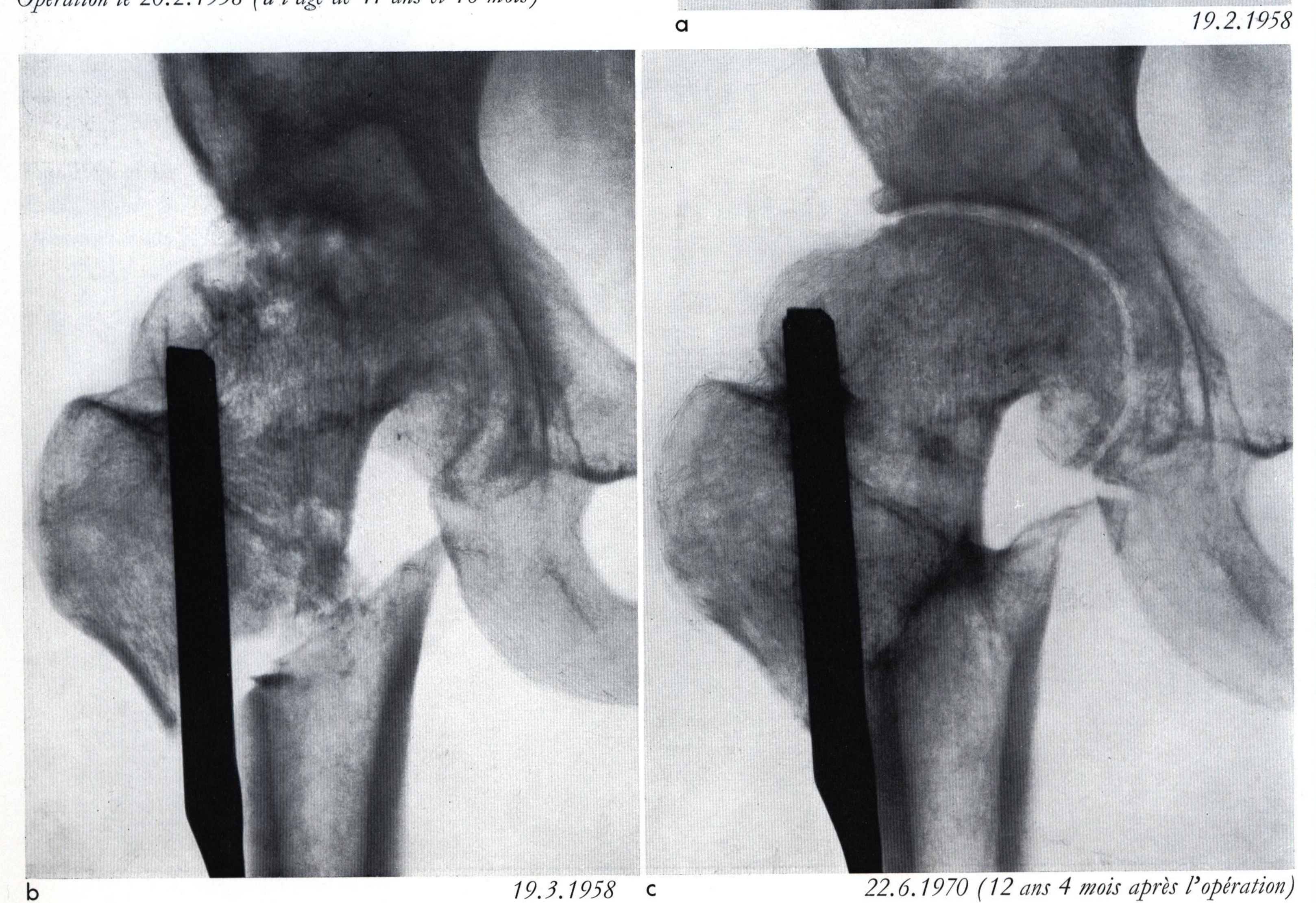


a 2.8.1959 b 1.6.1972 (12 ans 9 mois après l'opération)

Fig. 256a et b
R.N., ♀, née le 8.1.1918,
Opération le 10.9.1959 (à l'âge de 41 ans et 8 mois)

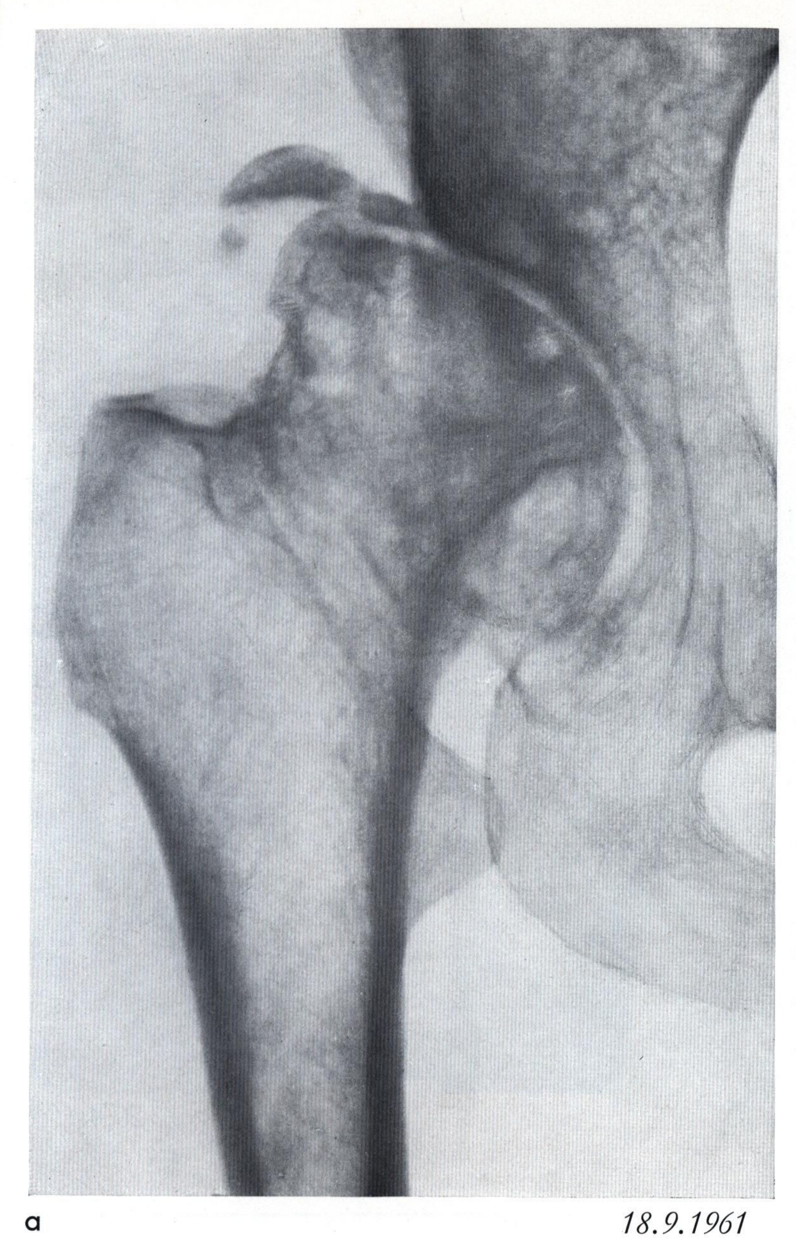
Fig. 257 a–c
M.J., ♀, née le 15.4.1916,
Opération le 20.2.1958 (à l'âge de 41 ans et 10 mois)

a *19.2.1958*

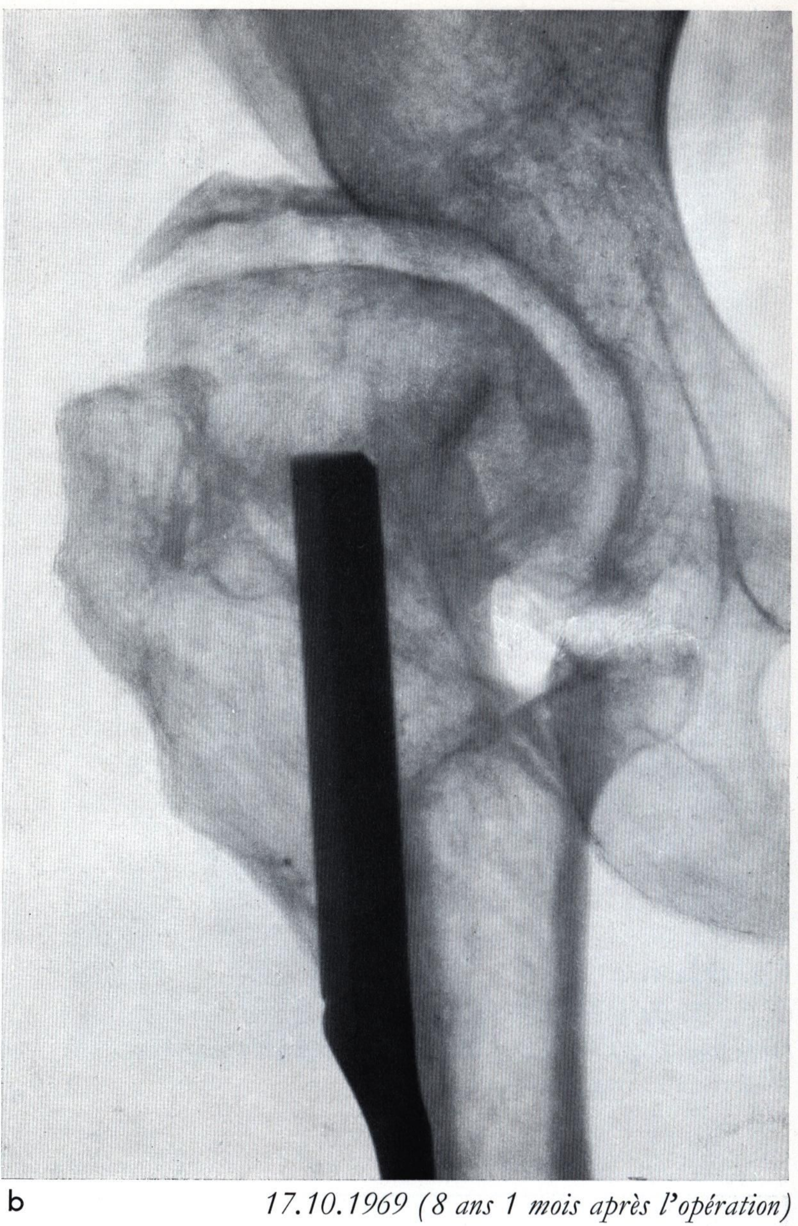


b *19.3.1958*

c *22.6.1970 (12 ans 4 mois après l'opération)*



a *18.9.1961*



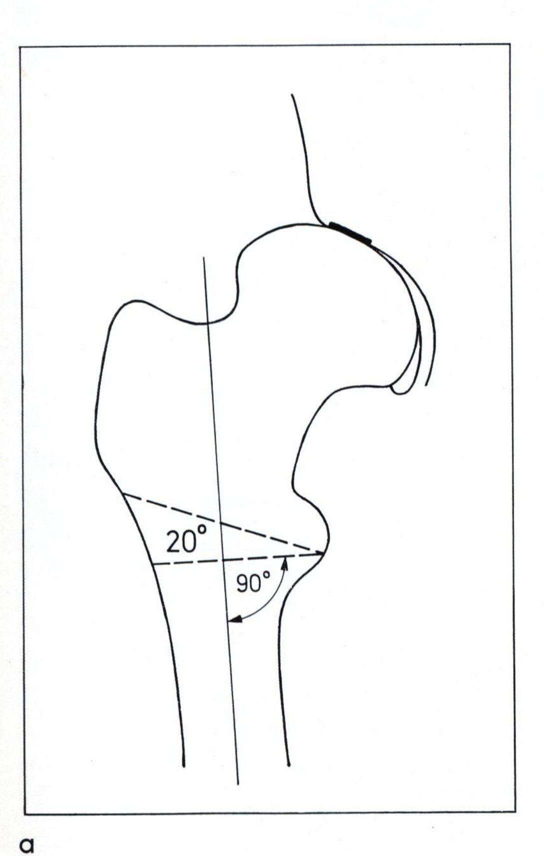
b *17.10.1969 (8 ans 1 mois après l'opération)*

Fig. 258a et b
F.B., ♀, née en 1916,
Opération le 26.9.1961 (à l'âge de 45 ans)

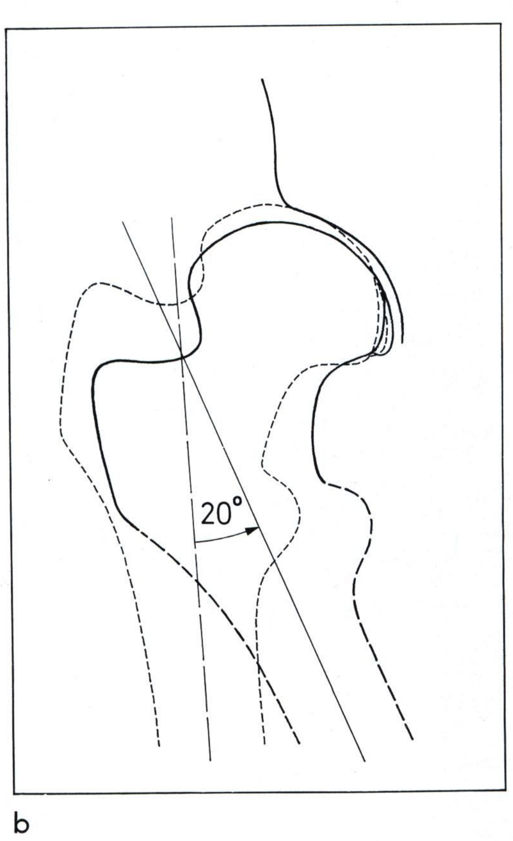
Fig. 259 a–c
O.F., ♀, née le 19.3.1918,
Opération le 20.7.1962 (à l'âge de 44 ans et 4 mois)



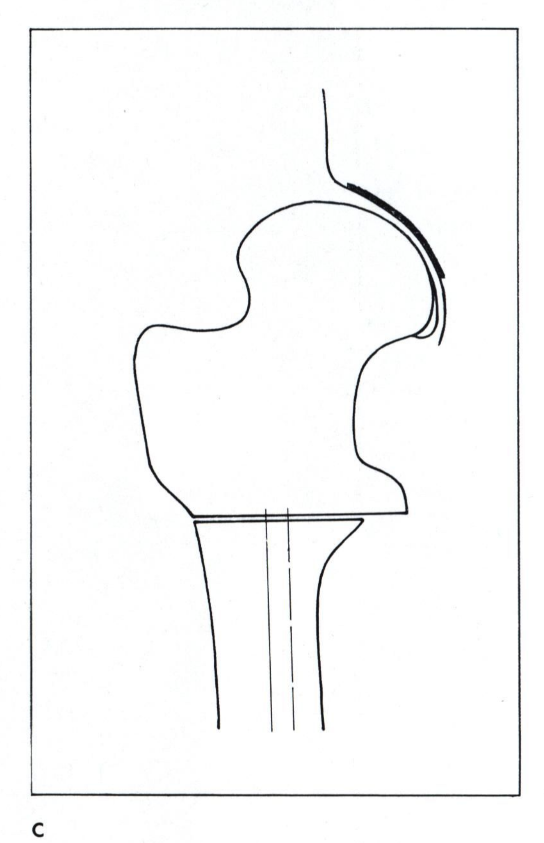
a *20.4.1962*



a

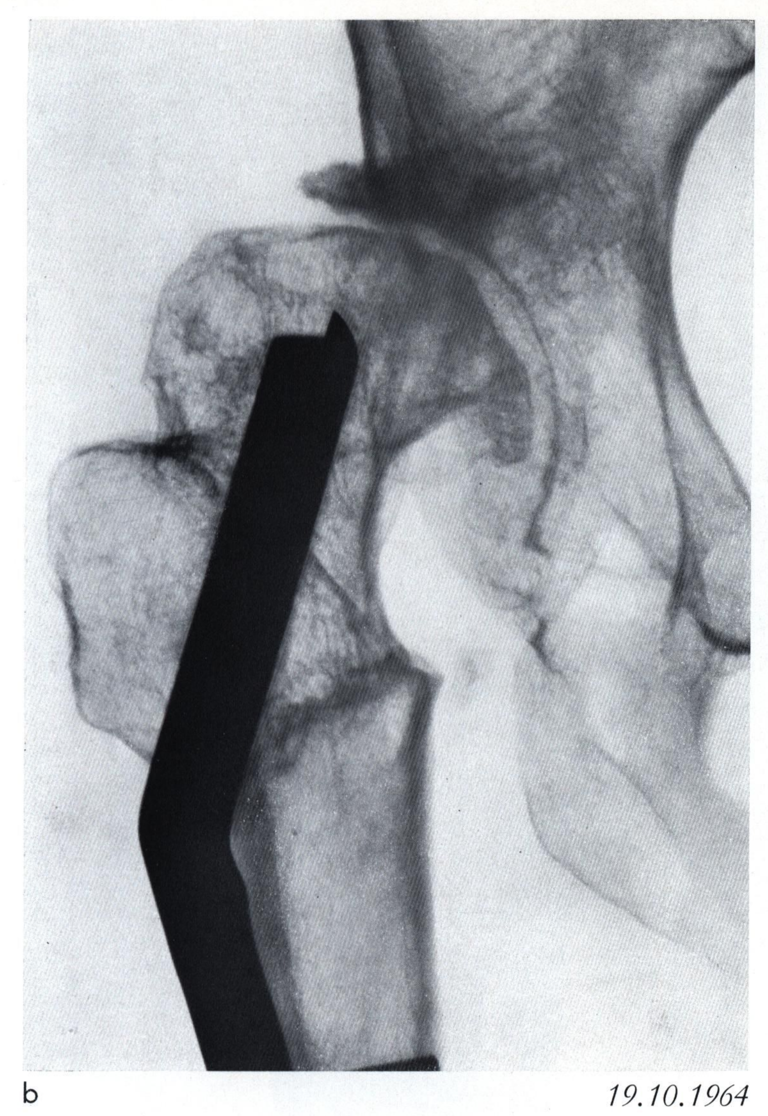


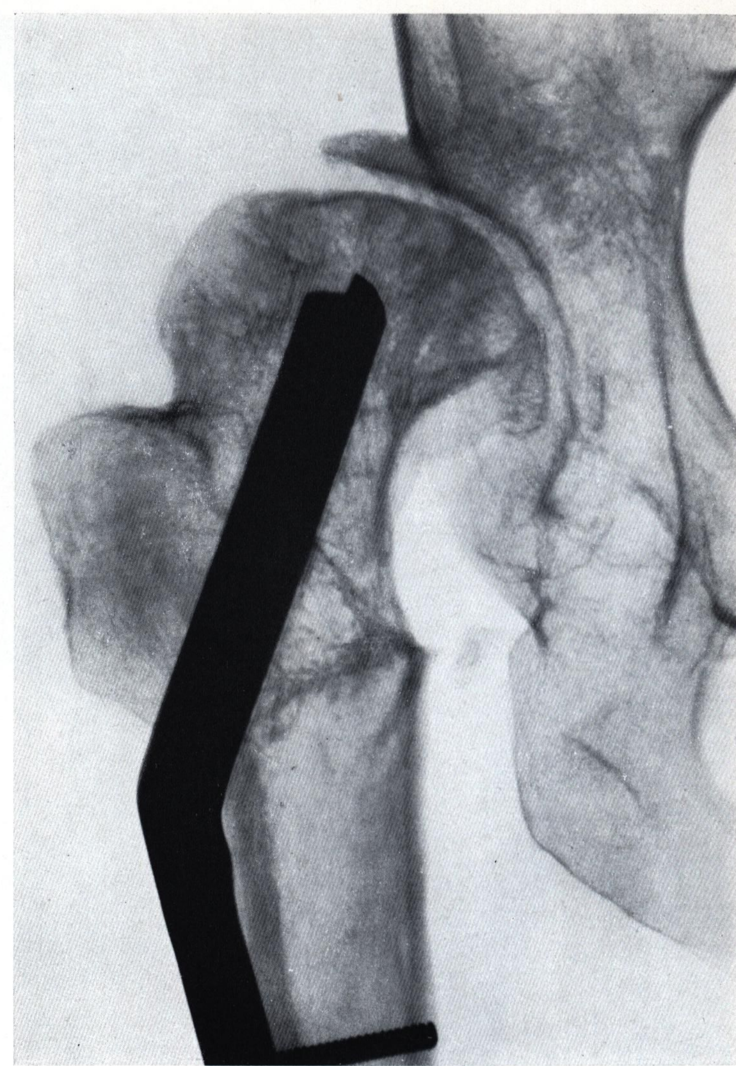
b

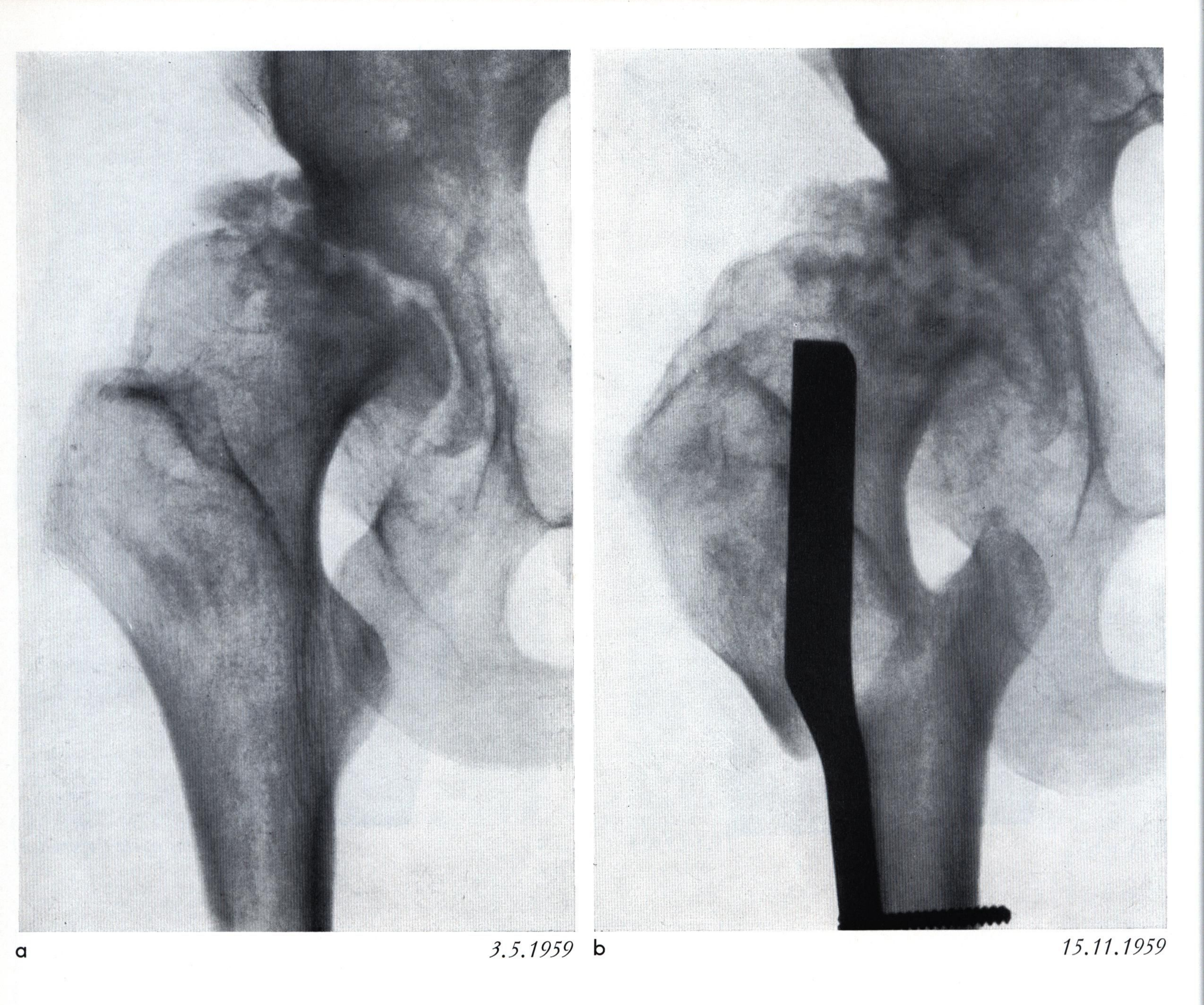


c

Fig. 260 a–c

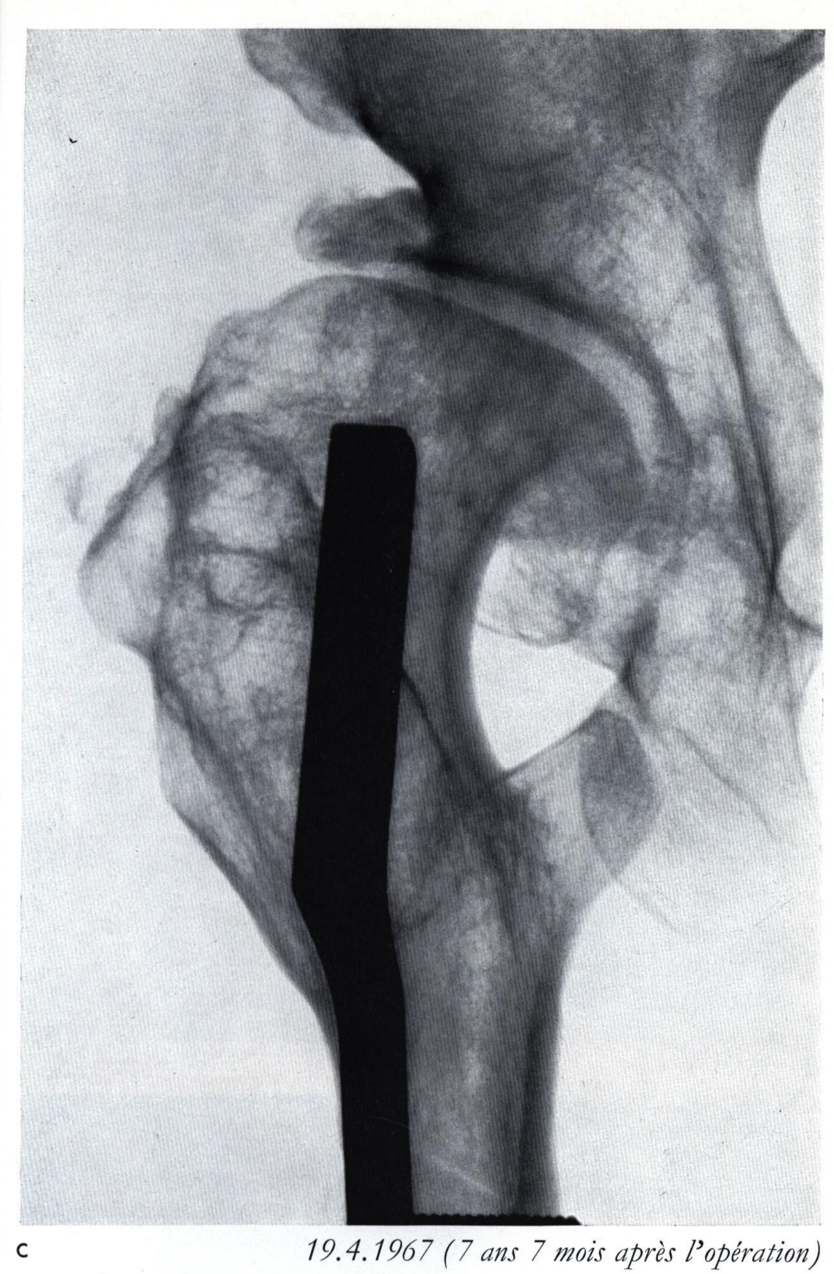

b 19.10.1964


c 18.7.1972 *(10 ans après l'opération)*



a 3.5.1959 b 15.11.1959

Fig. 261 a–c
T.V., ♀, née le 7.1.1915,
Opération le 29.9.1959 (à l'âge de 44 ans et 9 mois)

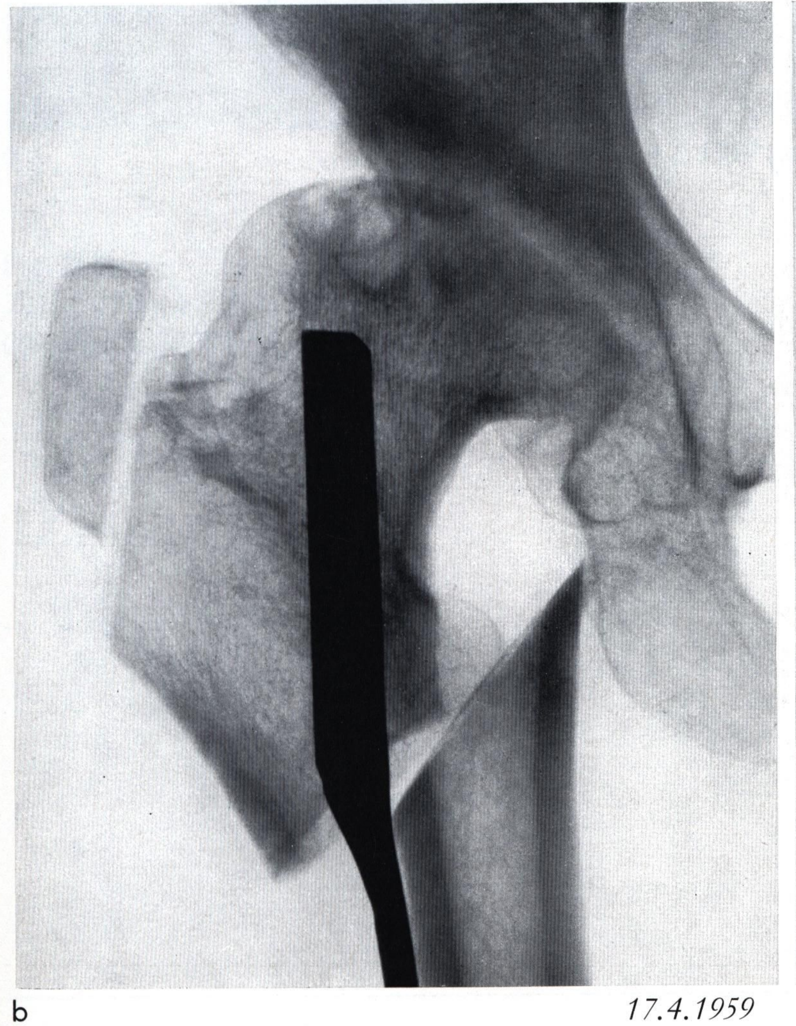


c *19.4.1967 (7 ans 7 mois après l'opération)*

Fig. 262a–c
P.K., ♀, *née le 11.8.1909,*
Opération le 19.3.1959 (à l'âge de 49 ans et 7 mois)

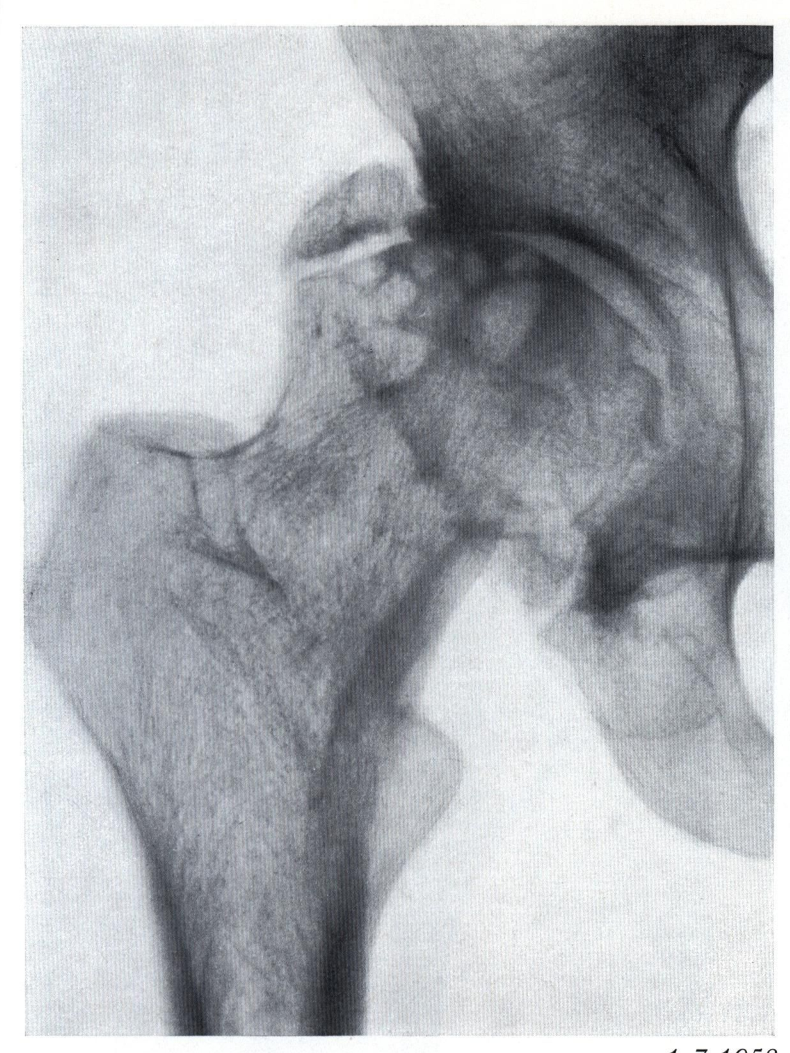


a *13.3.1959*

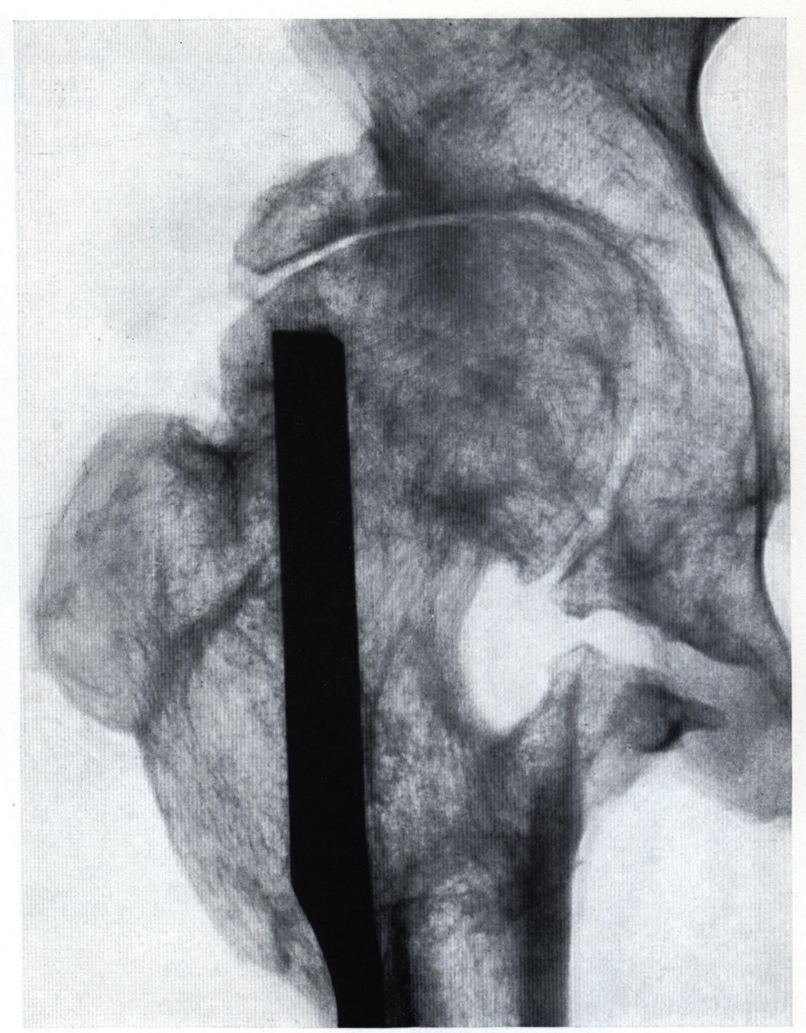


b *17.4.1959*

c *5.8.1969 (10 ans 5 mois après l'opération)*

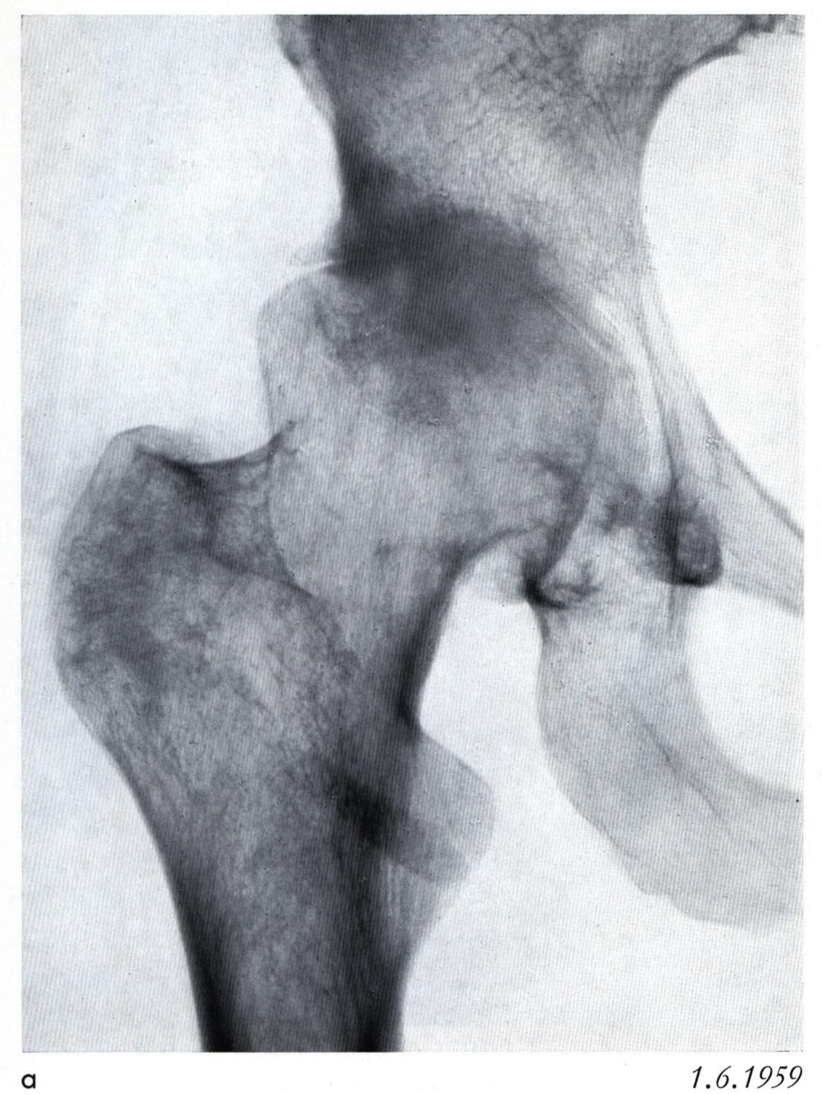


a *1.7.1958*

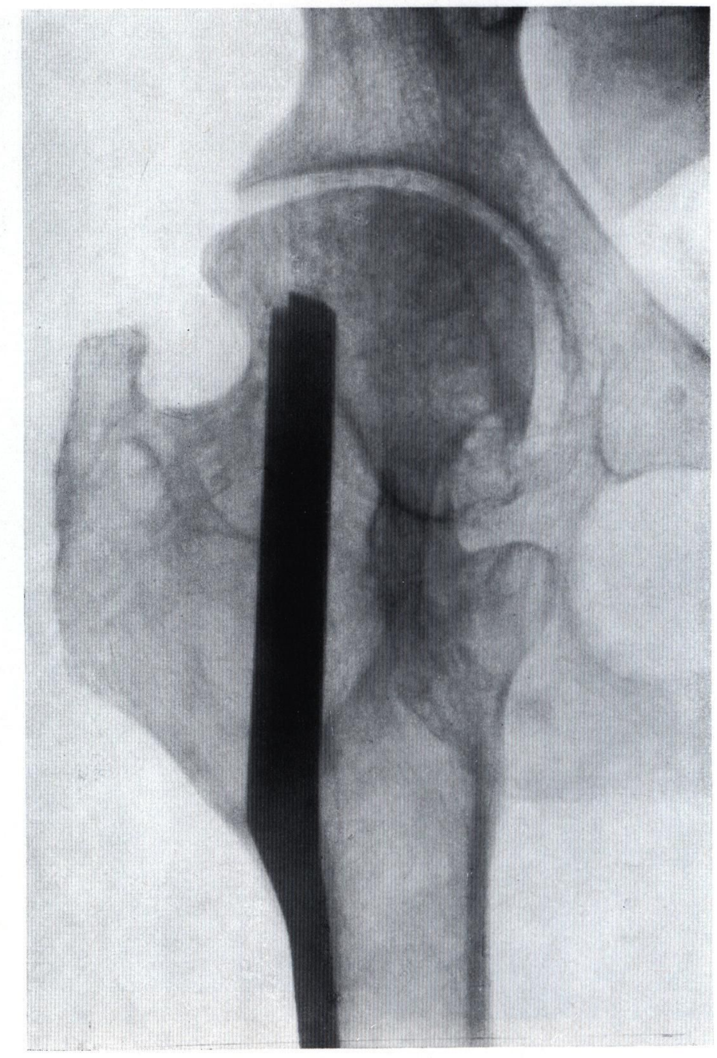


b *2.6.1971 (12 ans 11 mois après l'opération)*

Fig. 263a et b. *(Voir texte page 155)*
H.B., ♂, né le 21.9.1908,
Opération le 3.7.1958 (à l'âge de 49 ans et 9 mois)



a 1.6.1959

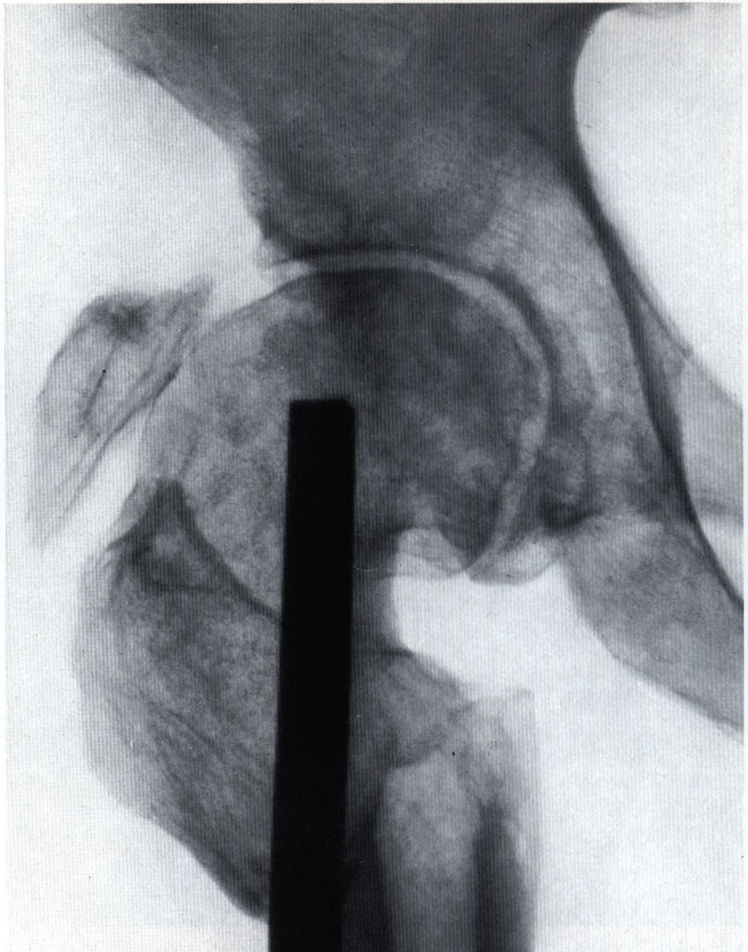


b 6.5.1968 *(8 ans 11 mois après l'opération)*

Fig. 264a et b
S.Sch., ♀, née le 24.2.1909,
Operation le 2.6.1959 (à l'âge de 50 ans et 3 mois)

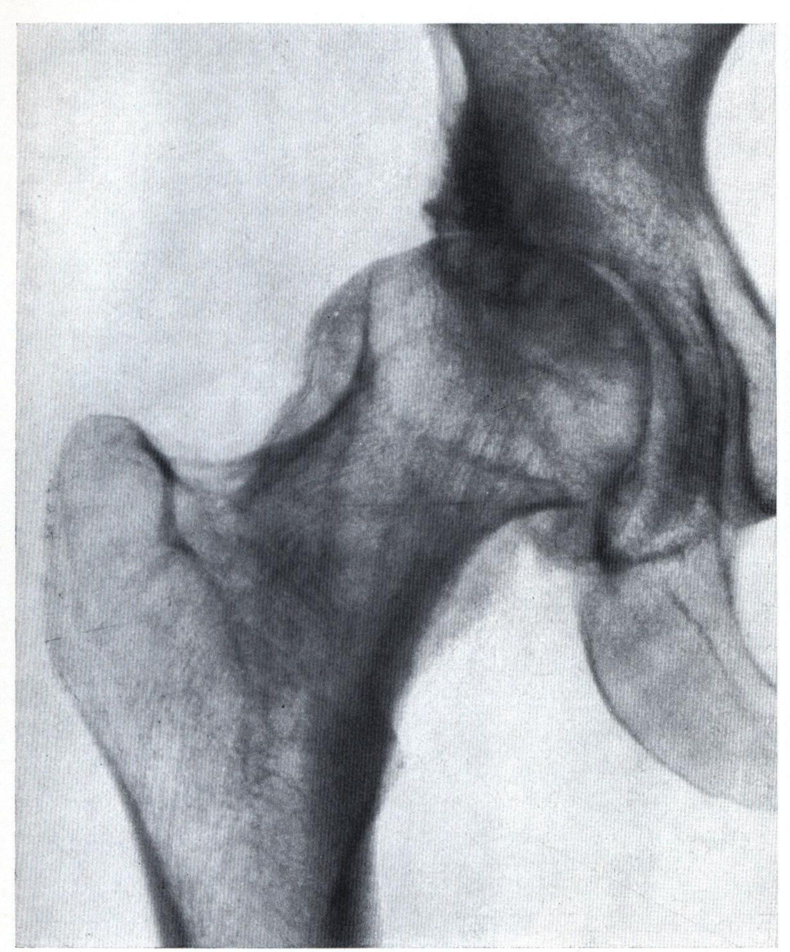


a *19.10.1960*



b *21.1.1965 (3 ans 3 mois après l'opération)*

Fig. 265a et b
P. F., ♂, né le 27.1.1910,
Opération le 6.10.1961 (à l'âge de 51 ans et 8 mois)


a 8.9.1955

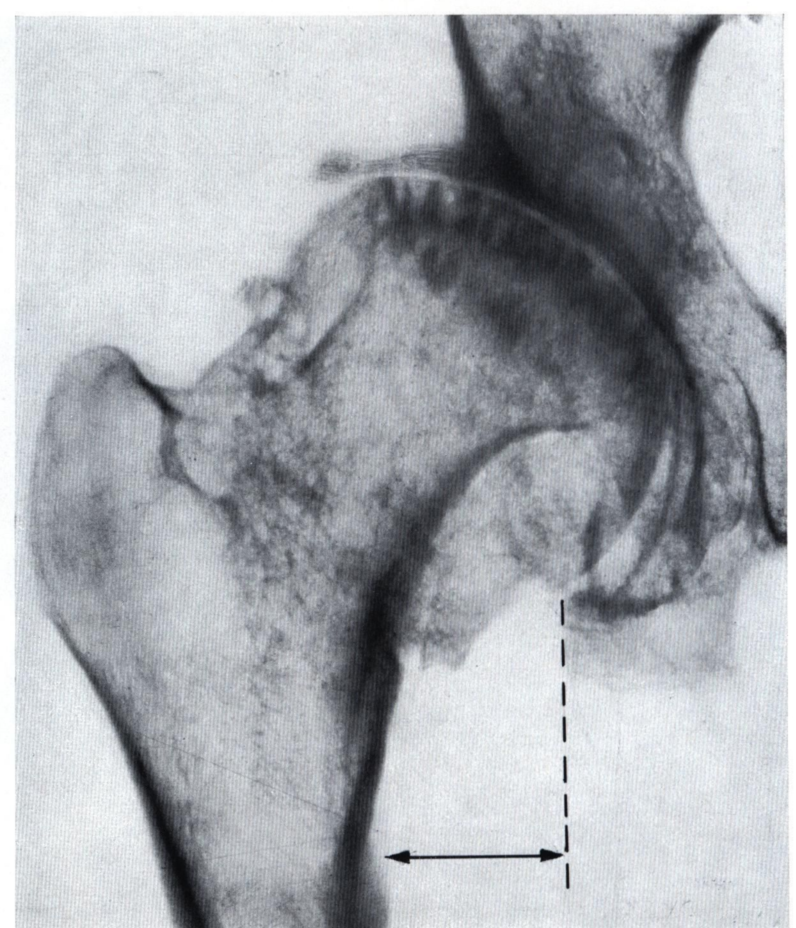
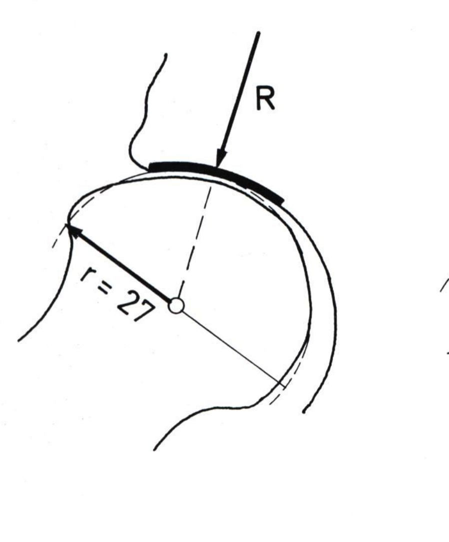

b 22.10.1962

Fig. 266a–f
P. B., ♀, née le 28.10.1908,
Opération le 5.12.1962 (à l'âge de 54 ans)



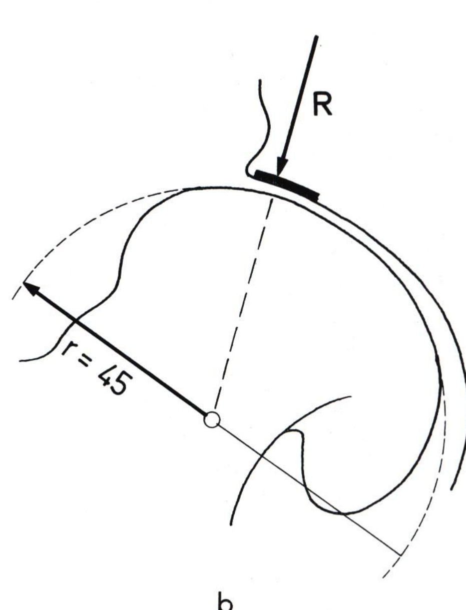
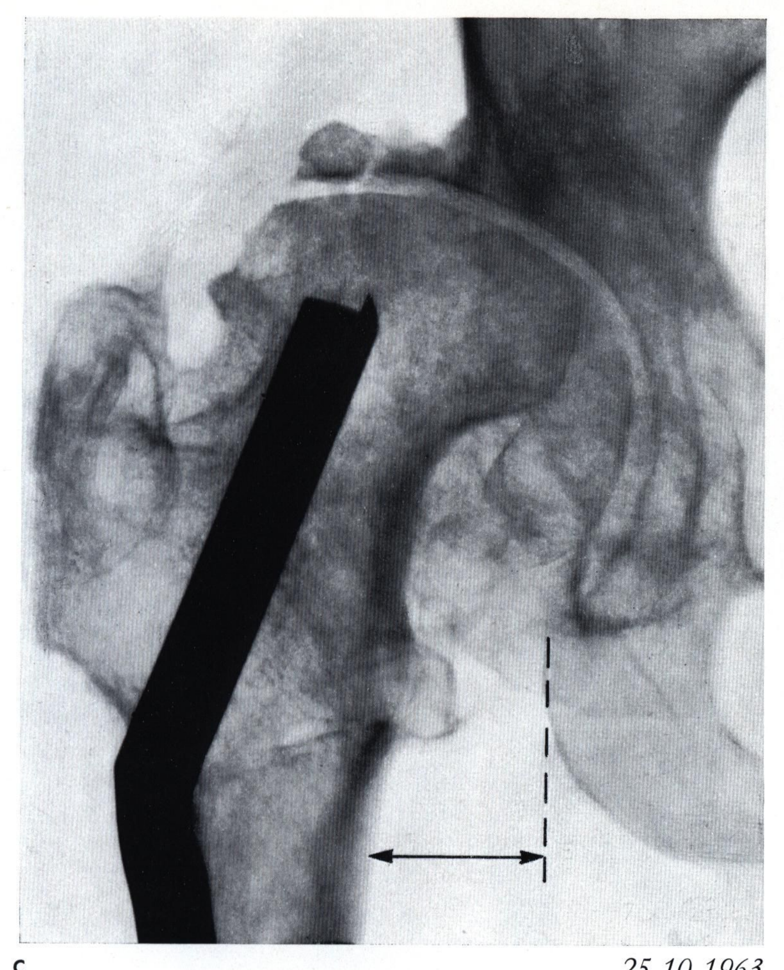
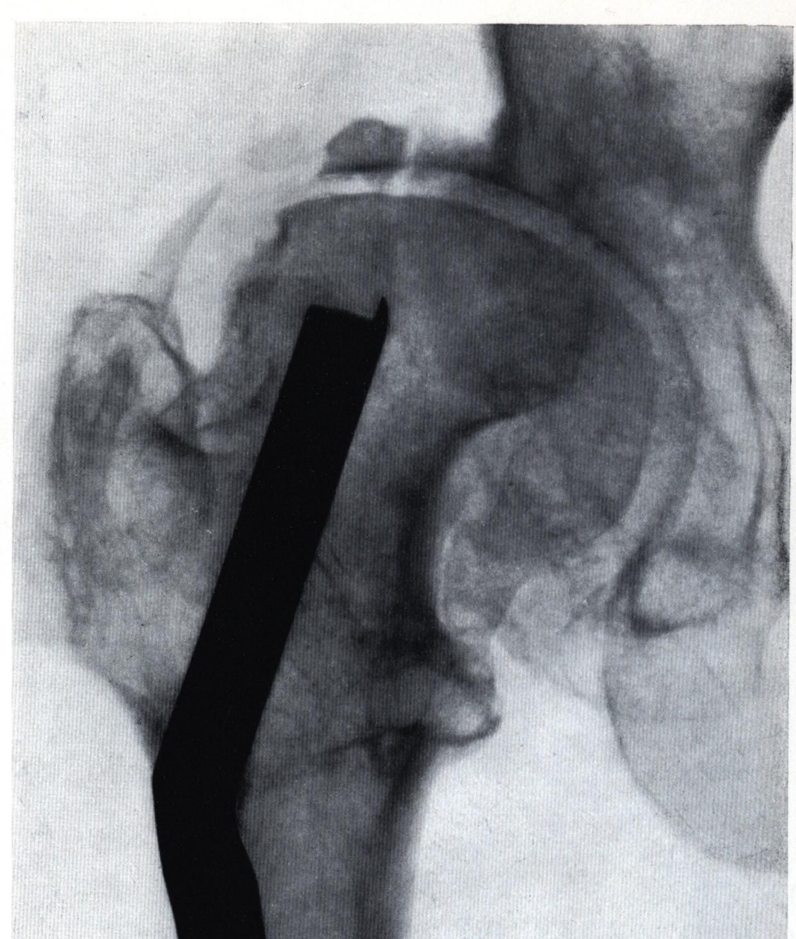


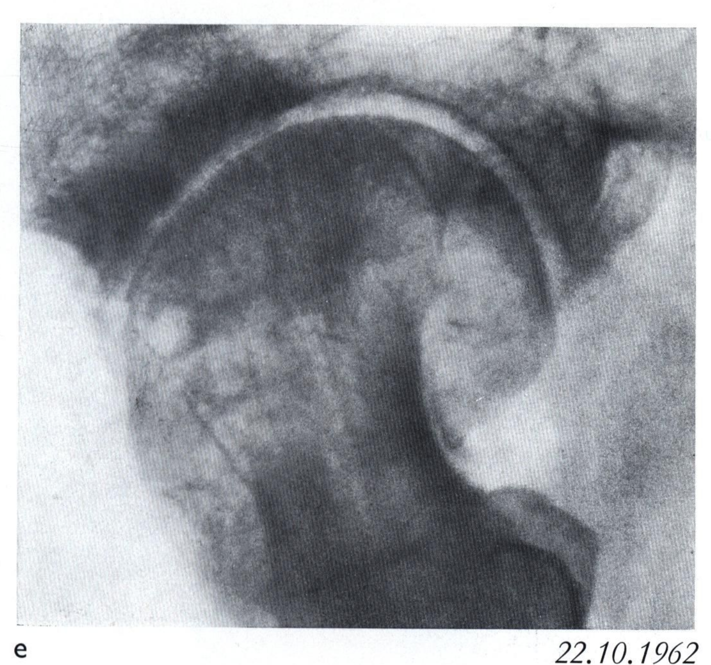
Fig. 267a et b a b



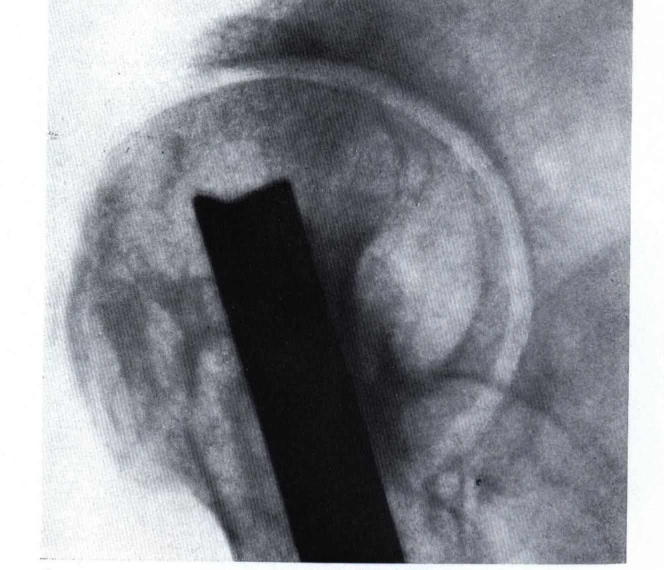
c 25.10.1963



d 12.1.1972 *(9 ans 1 mois après l'opération)*



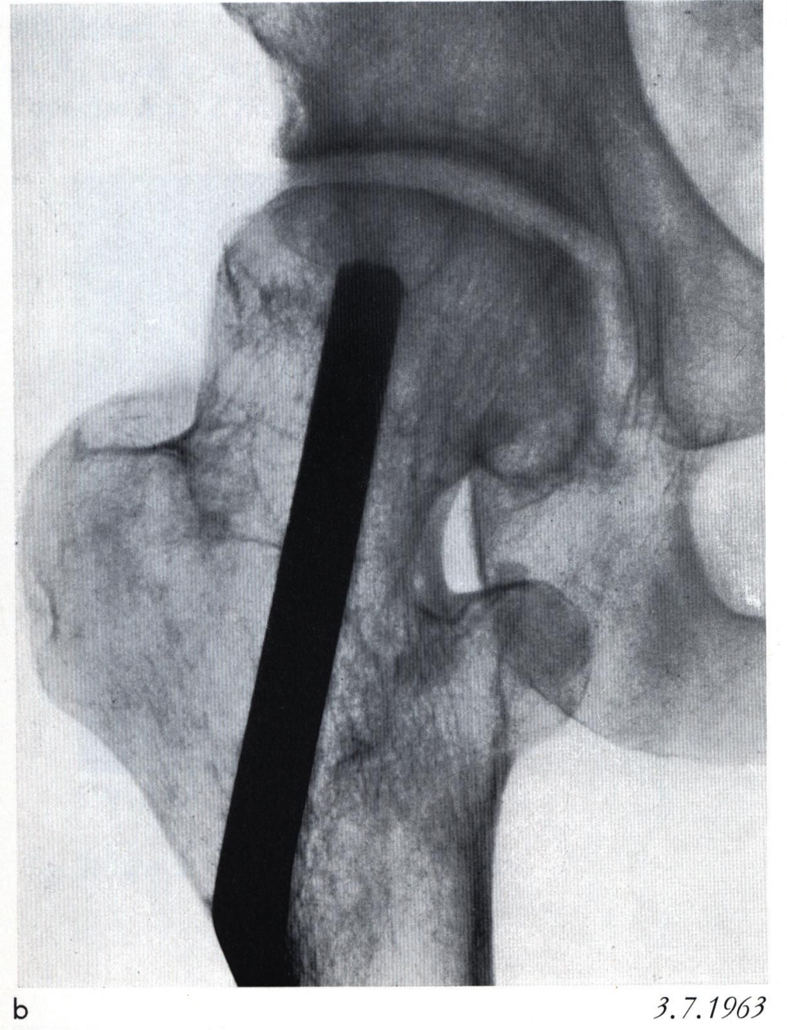
e 22.10.1962



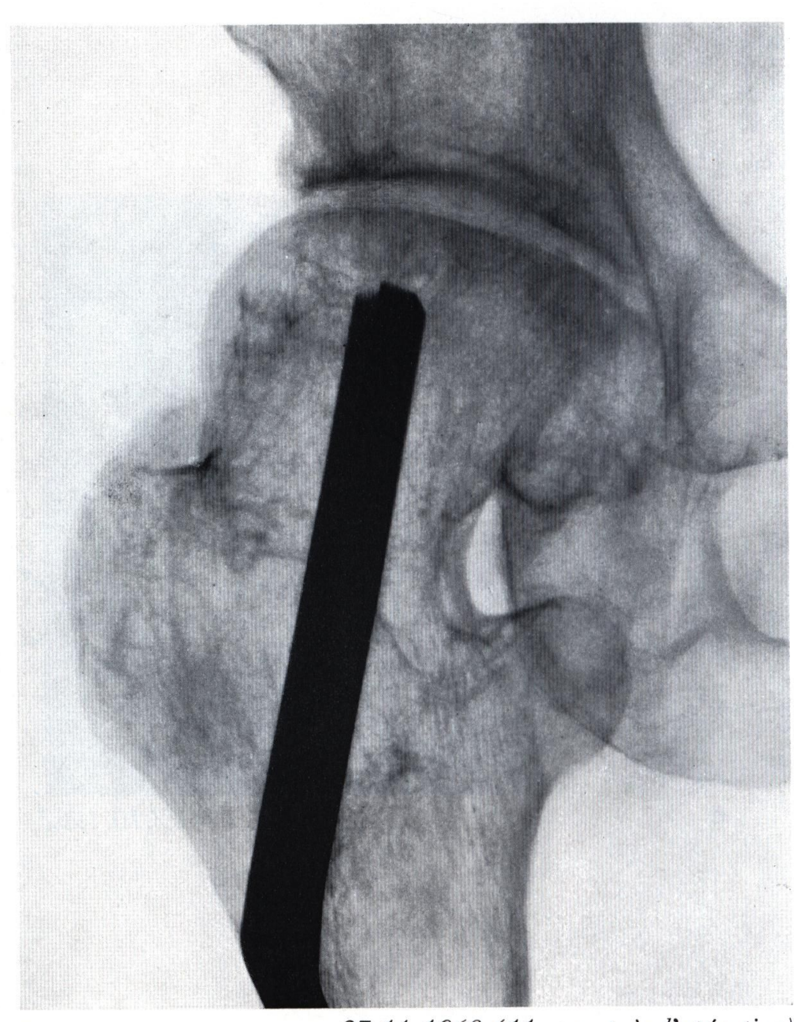
f 12.1.1972

Fig. 268a–c
G.M., ♀, née le 18.3.1904,
Operation le 14.11.1957 (à l'âge de 53 ans et 8 mois)

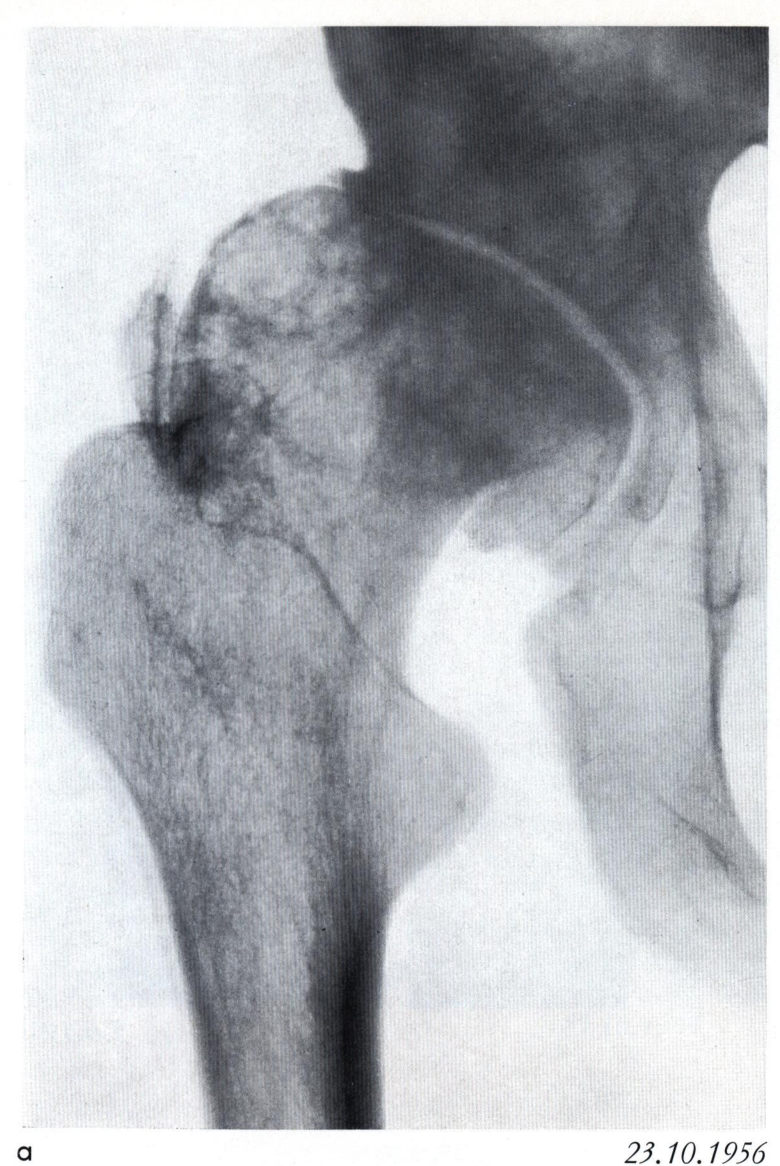
a *14.10.1957*



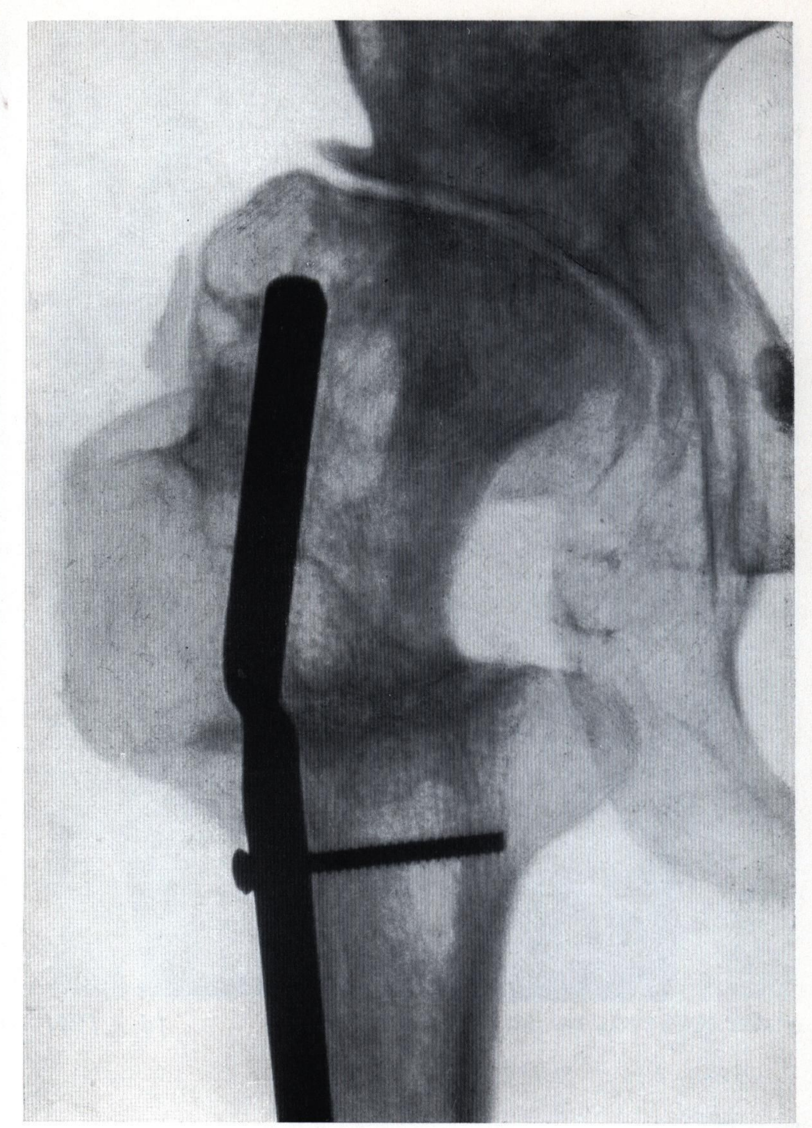
b *3.7.1963*



c *27.11.1968 (11 ans après l'opération)*

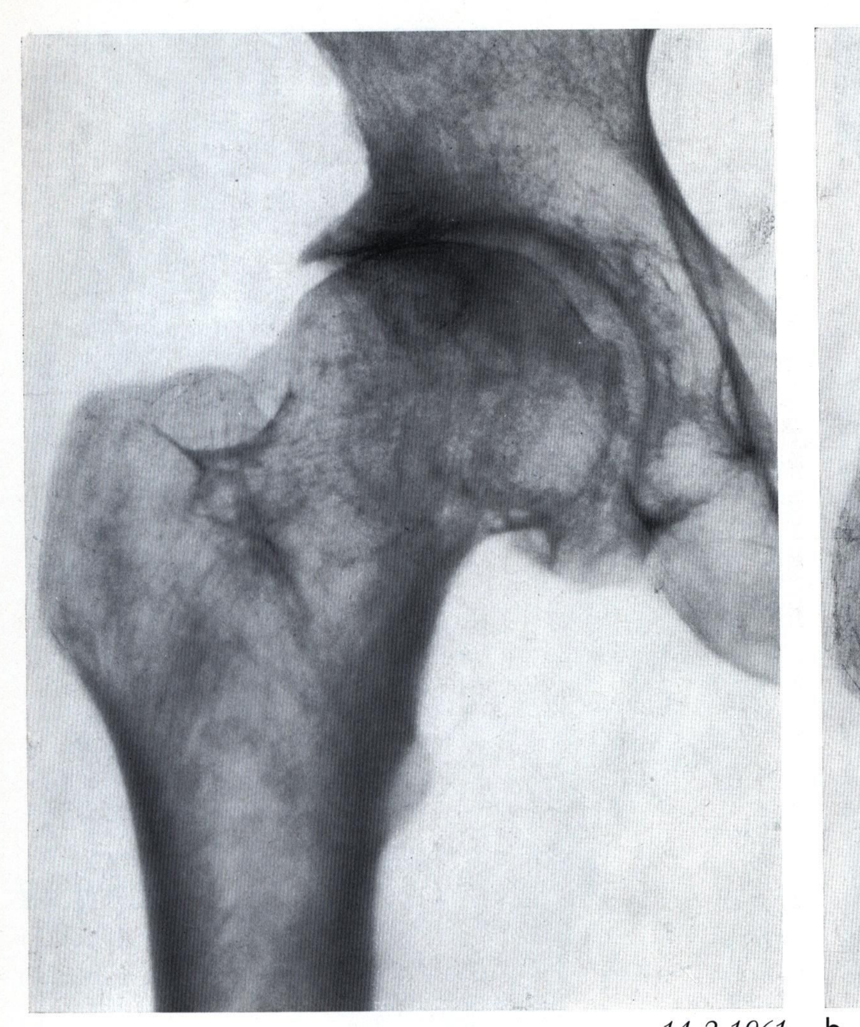


a *23.10.1956*

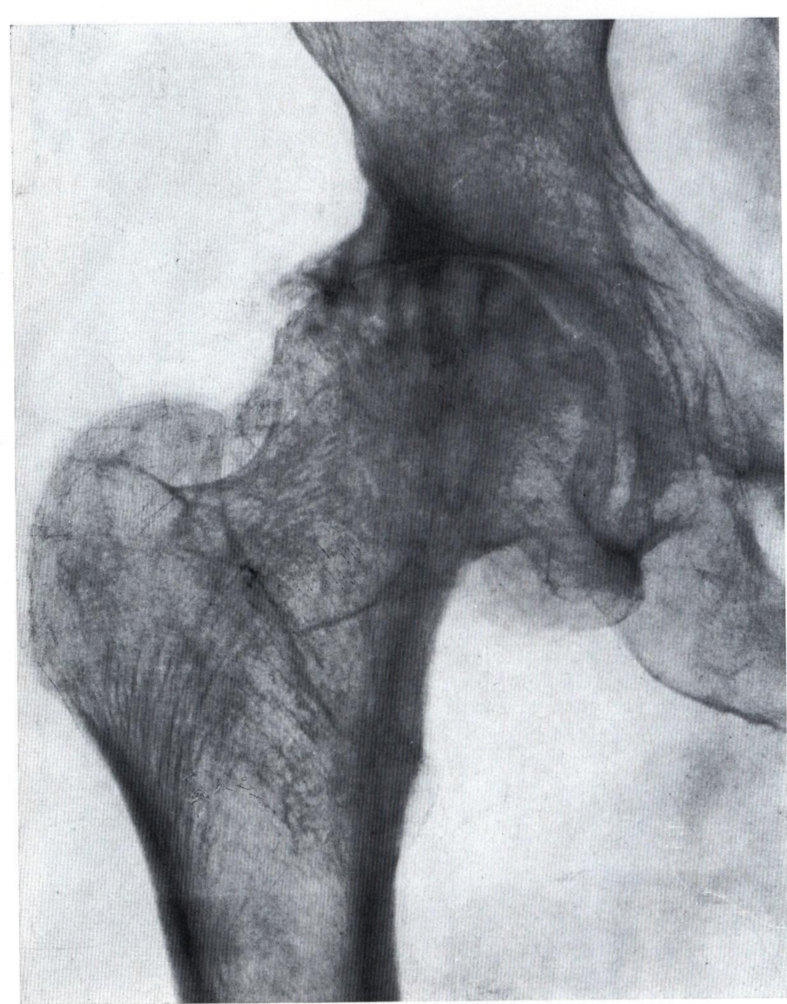


b *15.6.1970 (13 ans 8 mois après l'opération)*

Fig. 269a et b
J.A., ♂, né le 20.7.1896,
Opération le 25.10.1956 (à l'âge de 60 ans et 3 mois)



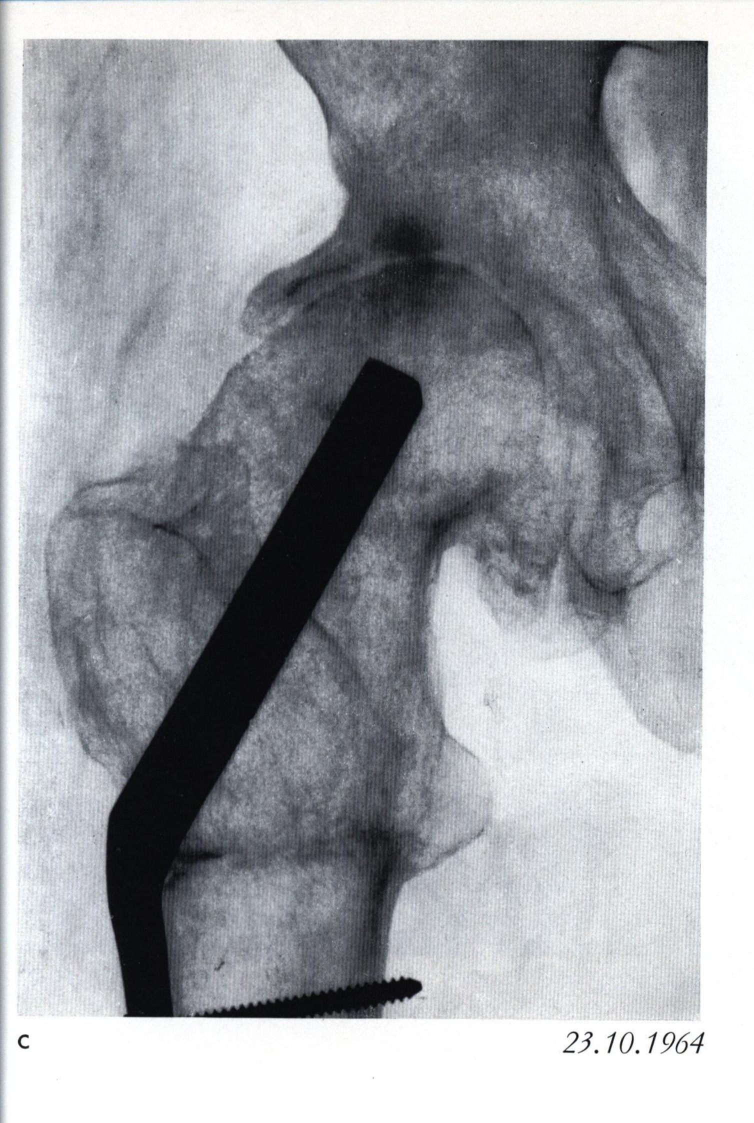
a 14.2.1961



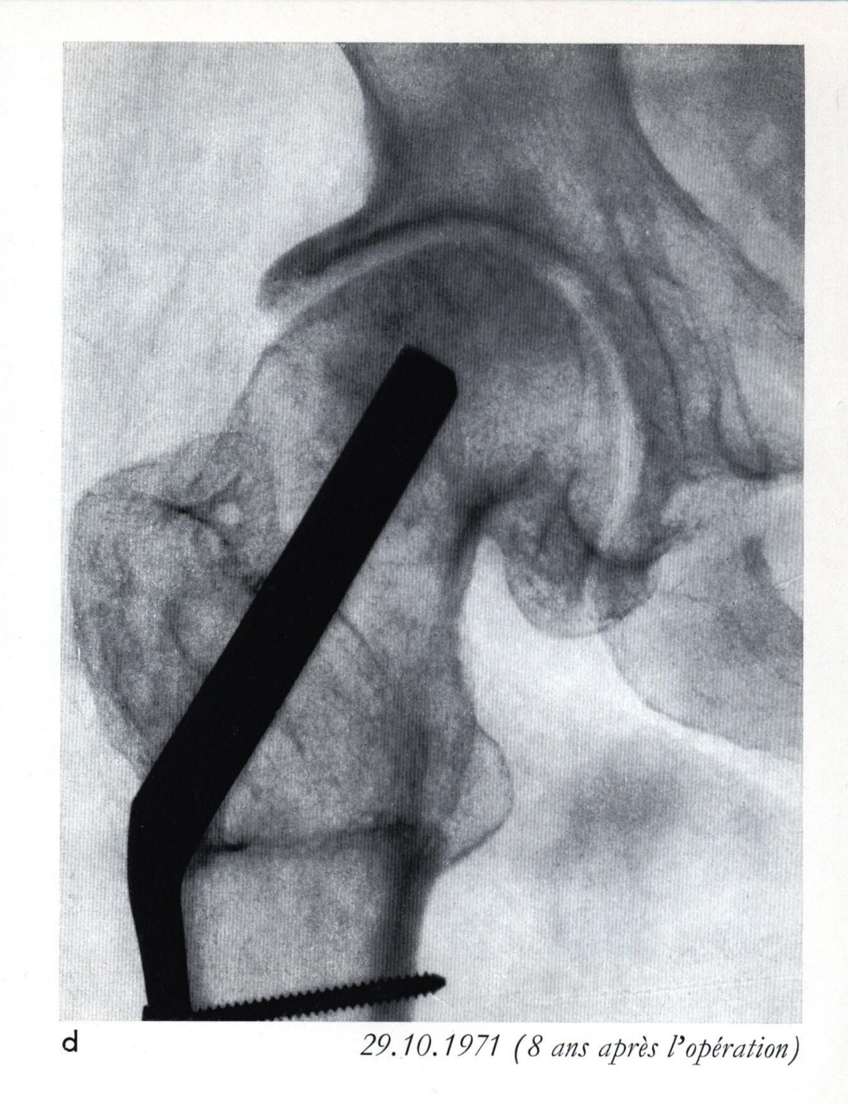
b 5.6.1963

Fig. 270a–d
B.K., ♀, née le 1.10.1900,
Opération le 18.10.1963 (à l'âge de 63 ans)

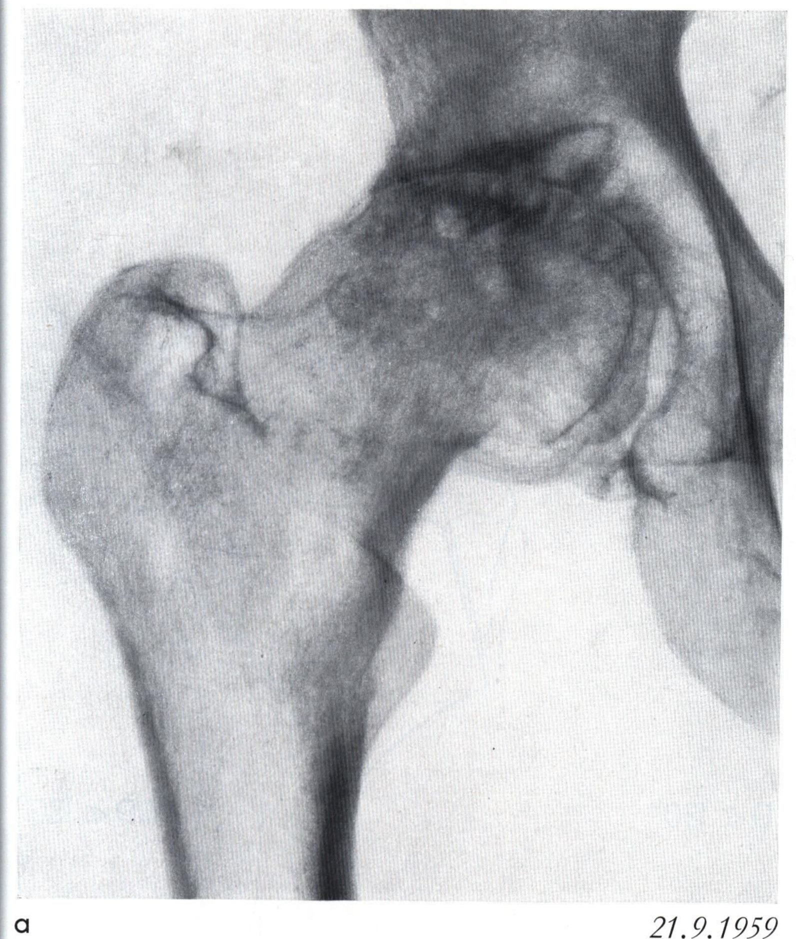
Fig. 271a et b ▶
A.L., ♂, né le 18.3.1891,
Opération le 24.11.1959
(à l'âge de 68 ans et 8 mois)



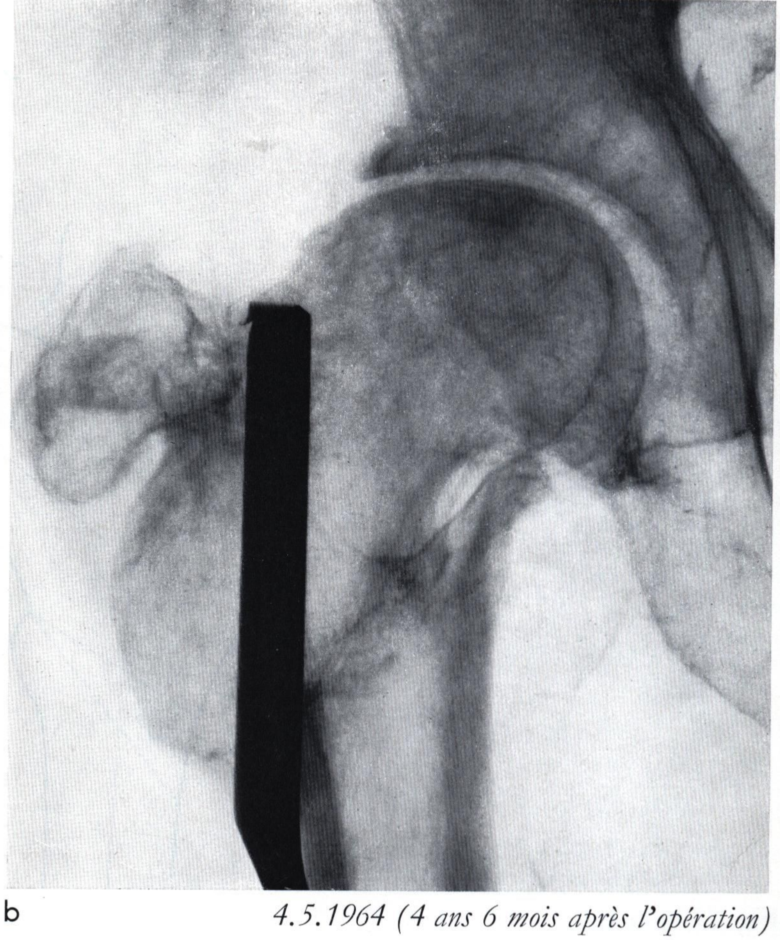
c 23.10.1964



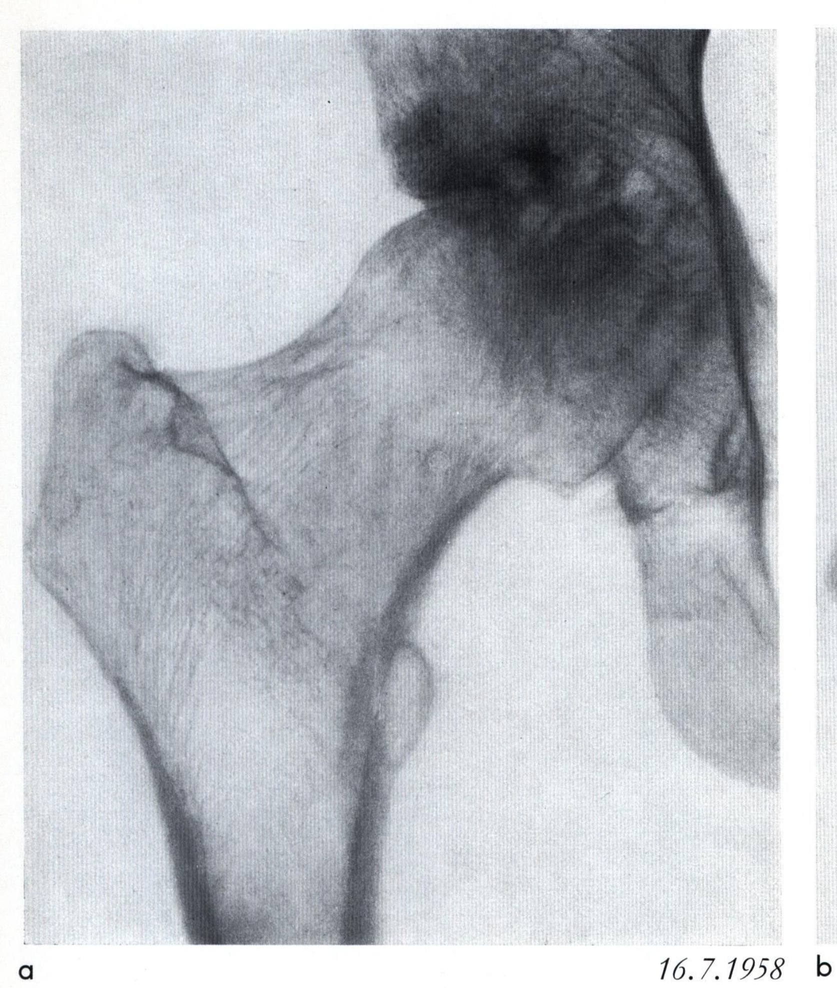
d 29.10.1971 *(8 ans après l'opération)*



a 21.9.1959



b 4.5.1964 *(4 ans 6 mois après l'opération)*



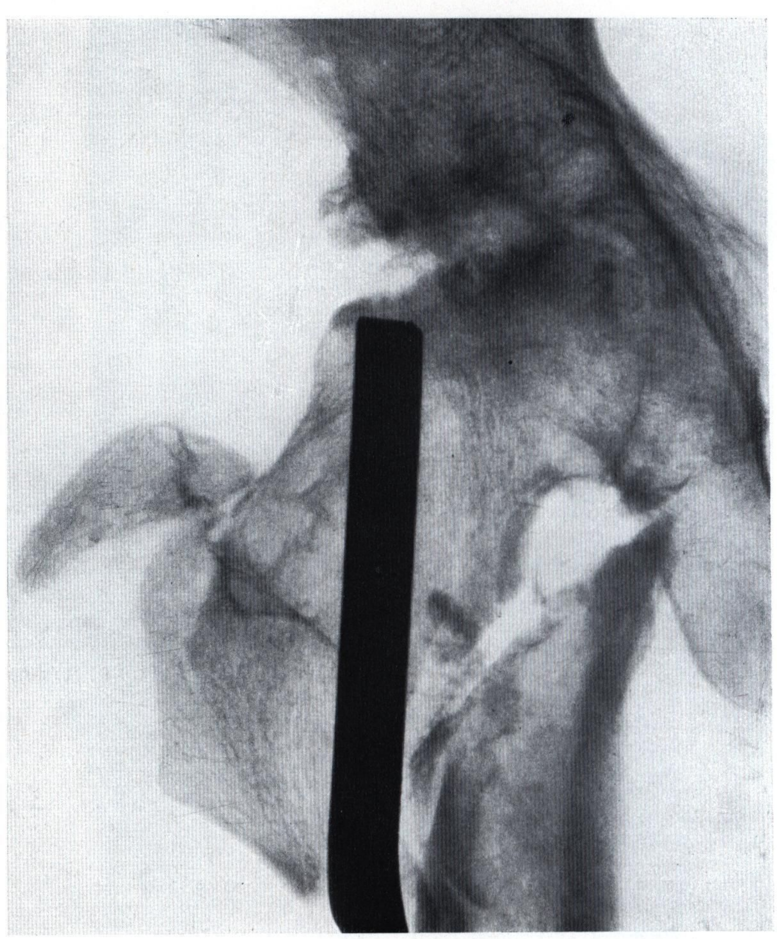
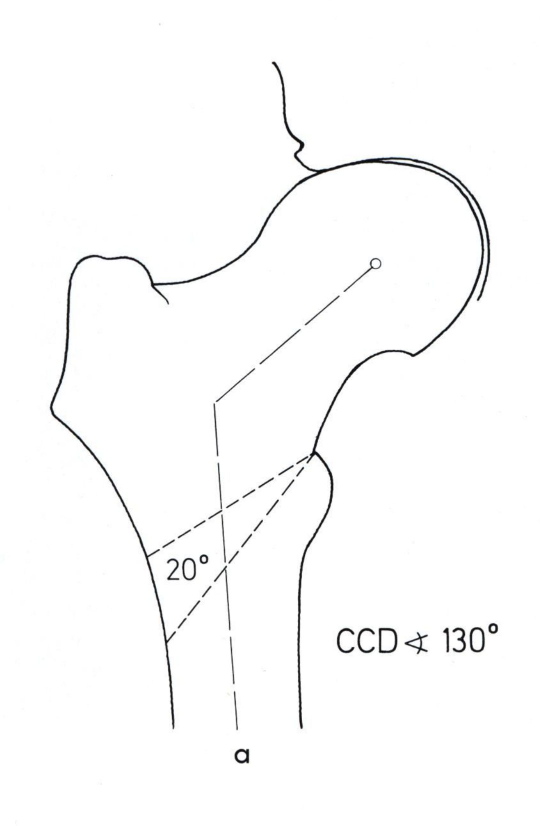


Fig. 272a–c. *(Voir texte page 155)*
R.D., ♂, né le 17.1.1895,
Opération le 14.10.1958 (à l'âge de 63 ans et 9 mois)



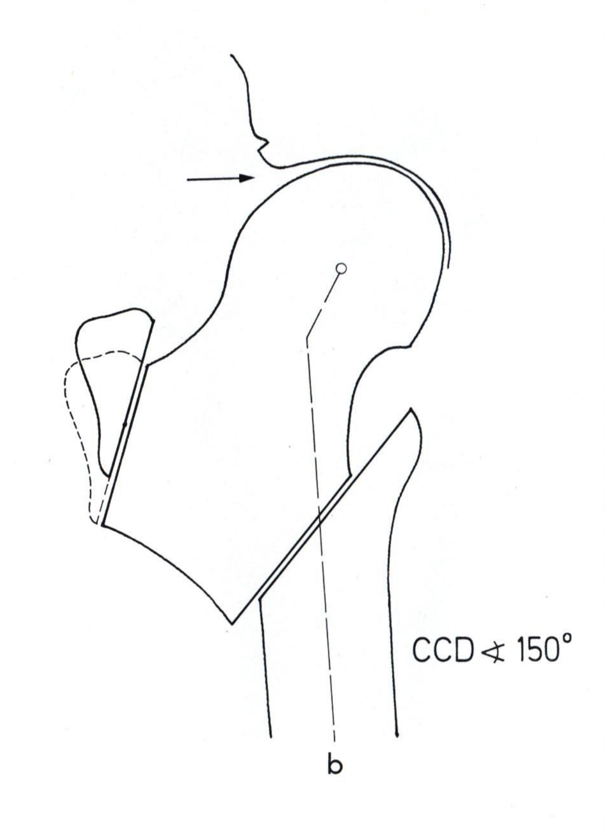
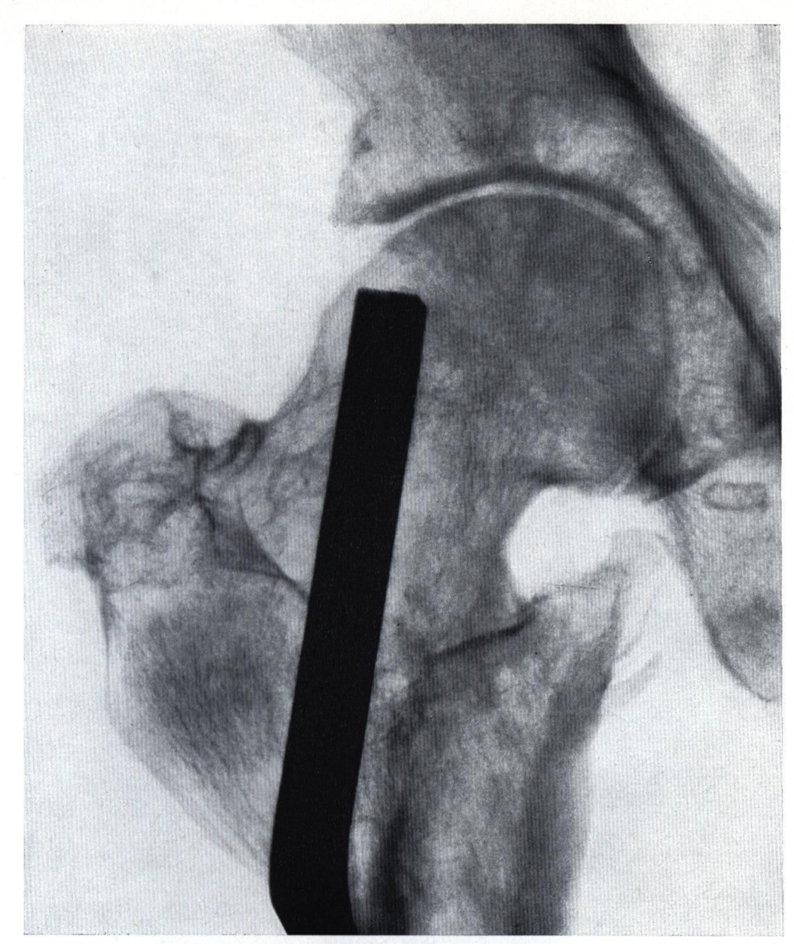
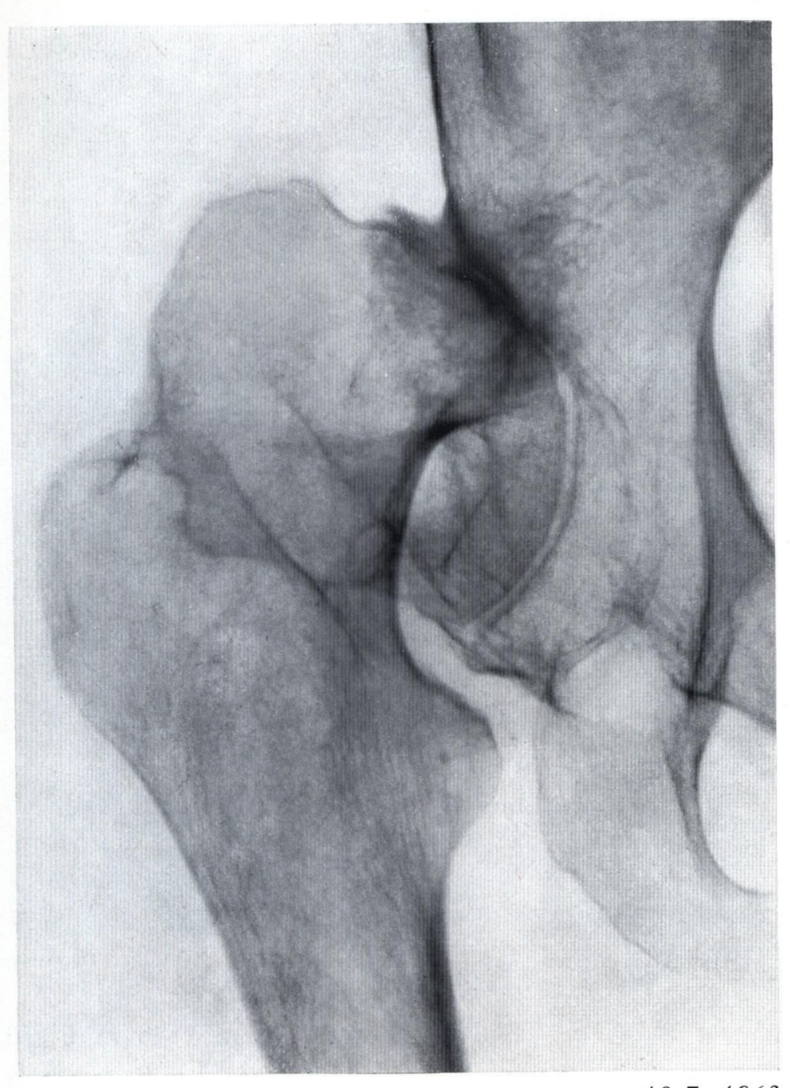


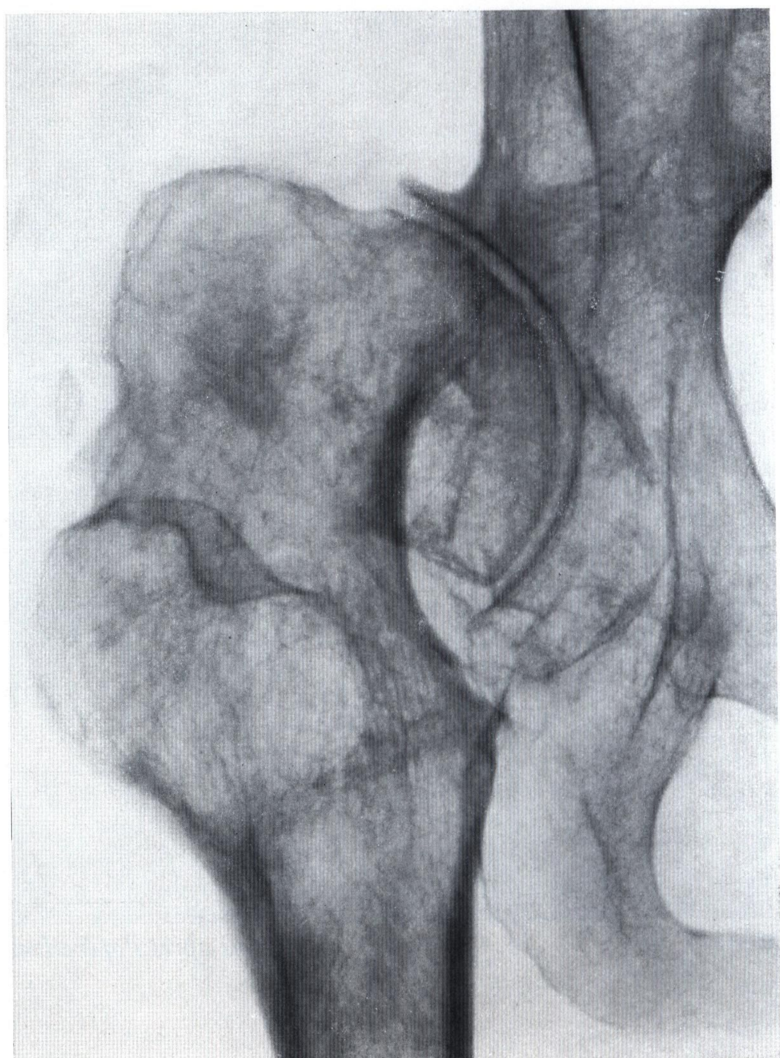
Fig. 273a et b



c *14.4.1970 (11 ans 6 mois après l'opération)*



a *18.7. 1963*



b *20.5.1969 (5 ans 10 mois après l'opération)*

Fig. 274a et b
I.K., ♀, née le 13.1.1901,
Opération le 22.7.1963 (à l'âge de 62 ans et 6 mois)

f) Résultats de l'ostéotomie valgisante d'abduction dans la subluxation extrême de la tête fémorale

Lorsque la tête fémorale est fortement subluxée avec enraidissement douloureux presque complet, par exemple dans les cas fig. 274–276 (deux patientes âgées respectivement de 62 et 56 ans), on pourrait croire qu'il est contre-indiqué d'accentuer encore le valgum du col fémoral. Cependant la préparation graphique (fig. 275) montra que, malgré l'extrême subluxation de la tête fémorale, une augmentation de la surface portante ne pouvait s'obtenir que par une ostéotomie valgisante d'abduction (PII). Chez les deux patientes, mon élève *Geller* de Düren exécuta cette opération. Comme le démontrent les radiographies 274b et 275b, il en résulta une régression des altérations arthrosiques et la réapparition d'un interligne de largeur partout égale. La pression articulaire, qui auparavant était concentrée au bord du cotyle, est maintenant distribuée sur une partie beaucoup plus grande de la surface articulaire, essentiellement constituée par l'ostéophyte en goutte dans le cas fig. 274b.

Les deux patientes ne souffrent plus du tout et sont satisfaites de l'opération. Pour marcher, elles utilisent une canne. Les mouvements de la hanche se sont nettement améliorés dans les deux cas. Ils restent cependant limités à cause de l'importance de la déformation.



a 18.2.1960

b 25.11.1966 *(6 ans 6 mois après l'opération)*

Fig. 275a et b
A.B., ♀, née le 15.2.1904,
Opération le 25.5.1960 (à l'âge de 56 ans et 3 mois)

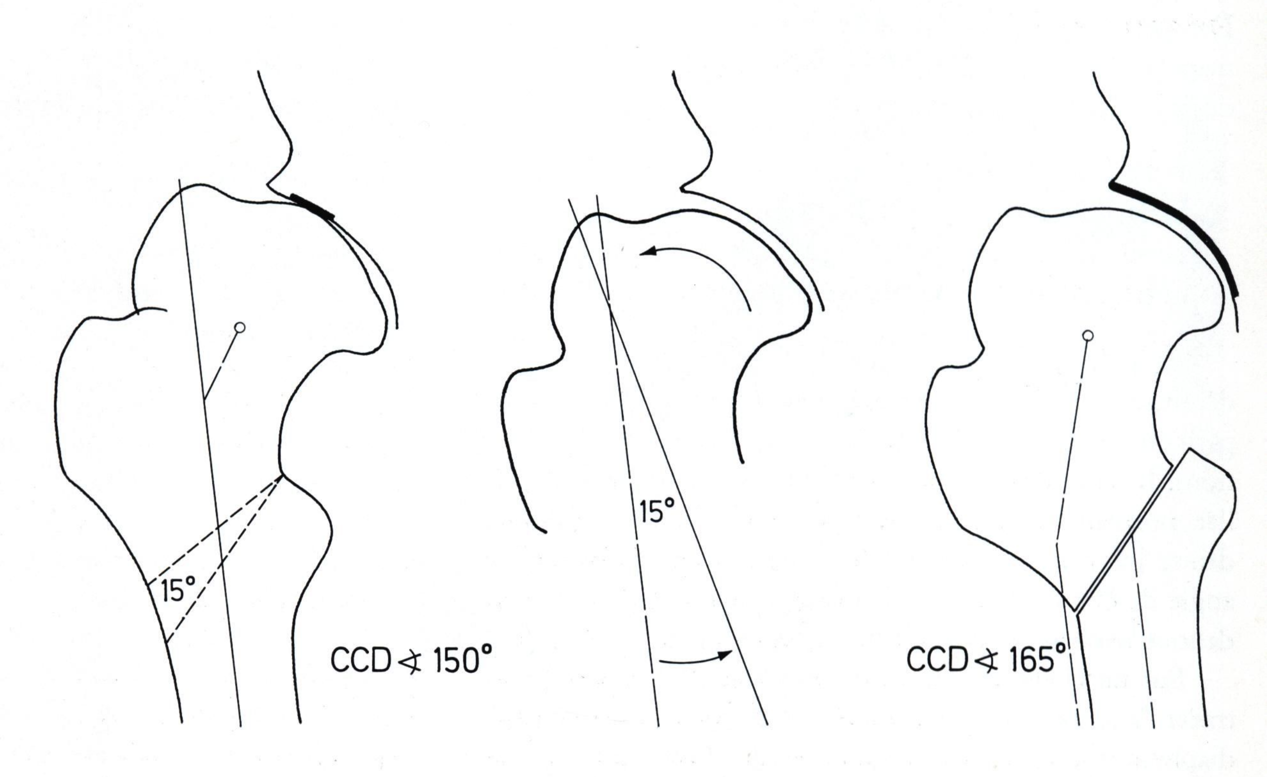
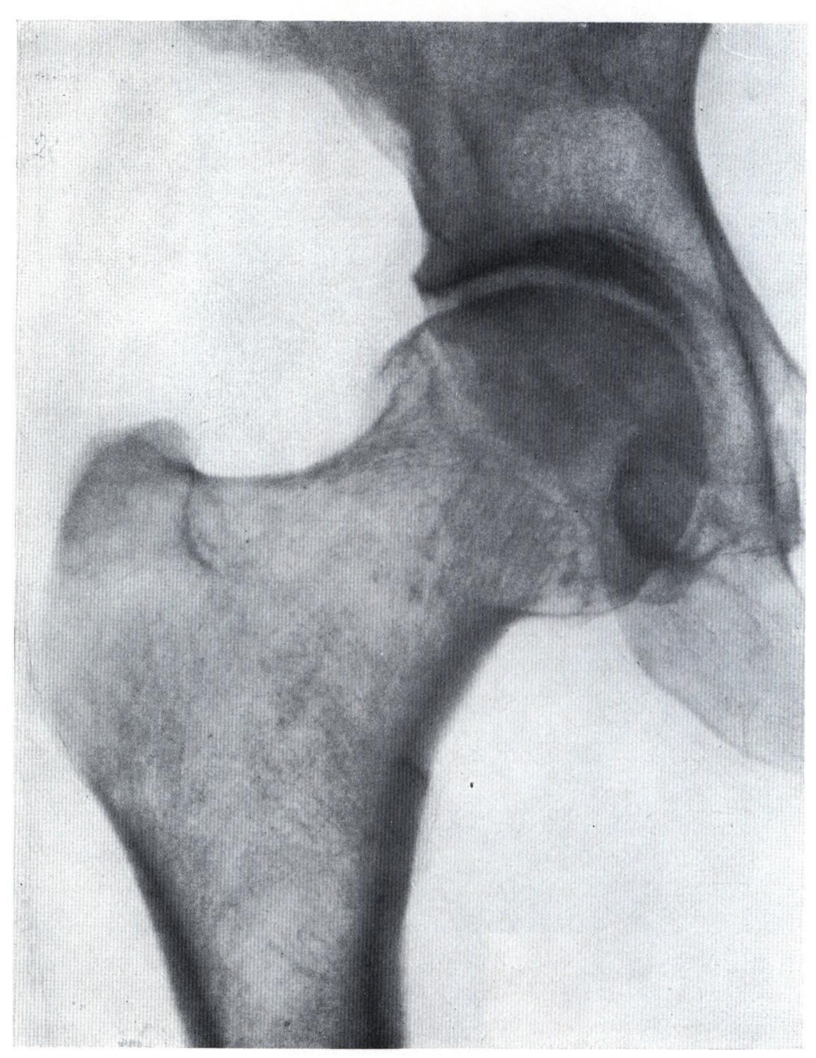


Fig. 276a–c



a 3.6.1953

g) Préparation de l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) en présence d'une adduction permanente

Dans la coxarthrose à un stade avancé, une adduction permanente peut s'installer, due à un obstacle osseux à l'abduction. Dans ce cas une thérapeutique causale doit:

1. corriger la malposition,
2. réduire la pression articulaire fortement augmentée et concentrée en une zone exiguë de l'articulation, par agrandissement de la surface portante.

La préparation graphique de l'opération requise sera décrite en prenant comme exemple le cas fig. 277a–e (une patiente de *de Marneffe* de Bruxelles, qui exécuta l'opération). Il faut partir du fait que, lorsque la hanche se mobilise normalement, l'axe transversal du bassin (c-à-d. la droite joignant les centres des têtes fémorales) forme un angle de 80° avec l'axe de la diaphyse fémorale, en station debout avec appui symétrique sur les deux pieds.

Sur un cliché montrant tout le bassin, il faut d'abord tracer l'axe transversal de celui-ci (*QB*), de même que l'axe diaphysaire du fémur fixé en adduction. Dans le cas présent, ces axes forment entre eux un angle de 65° (fig. 277d).

Fig. 277a–e
H.M., ♀, née le 30.6.1901,
Opération le 18.7.1967 (à l'âge de 66 ans et 1 mois)

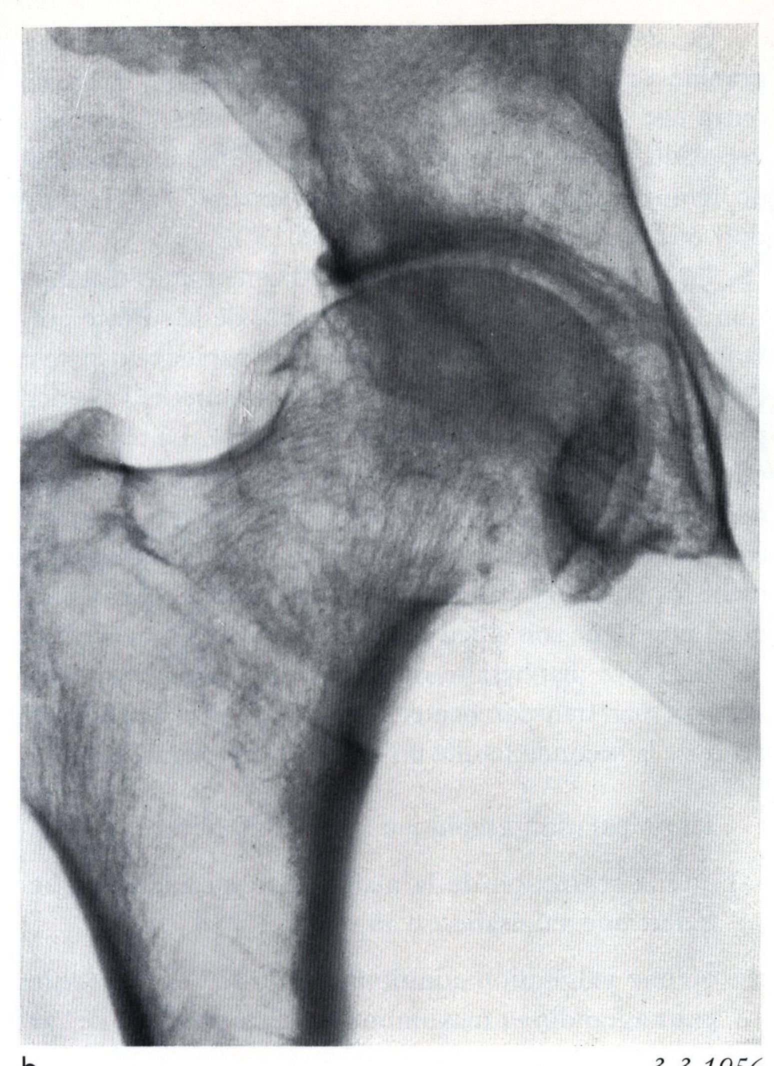
a Coxarthrose primaire avec sourcil convexe

b Apparition d'un ostéophyte en goutte. Celui-ci provoque une subluxation et la dégénérescence kystique au bord du cotyle dans la zone où la pression est concentrée

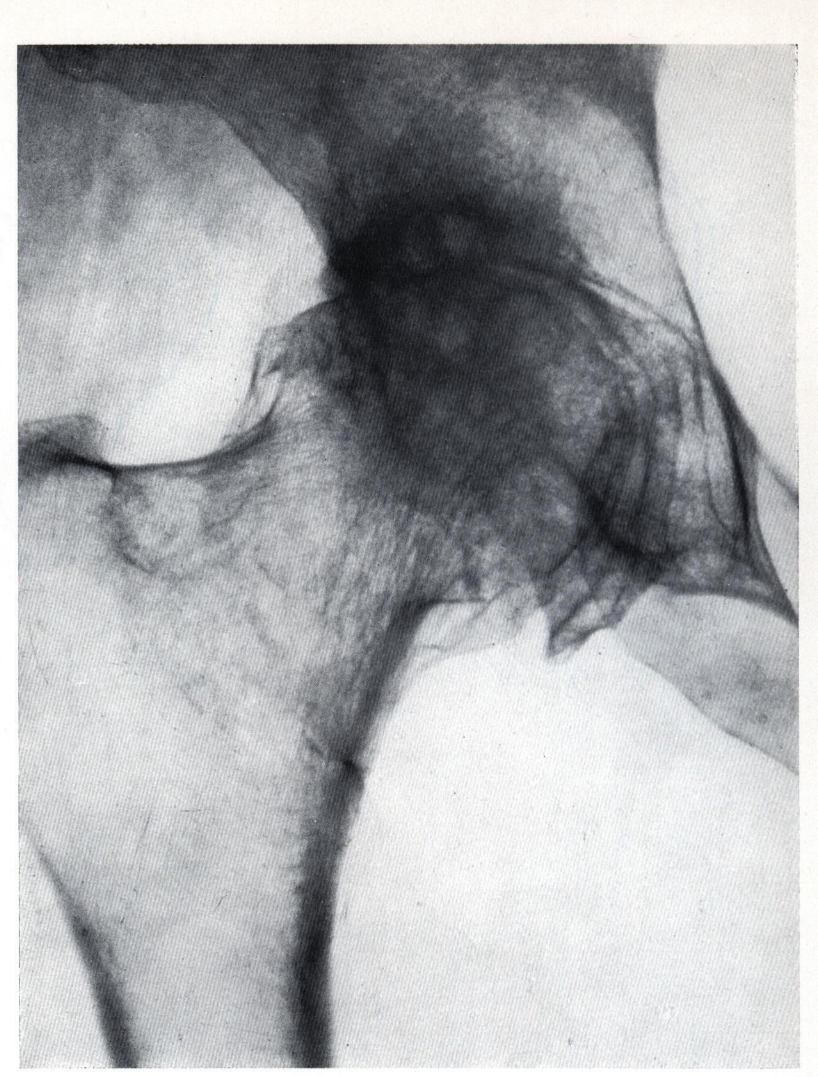
c Accentuation de la condensation du tissu osseux et pincement de l'interligne articulaire au bord du cotyle, dégénérescence kystique progressive de la tête et du cotyle

d Destruction plus prononcée de l'articulation avec adduction permanente due à un obstacle osseux

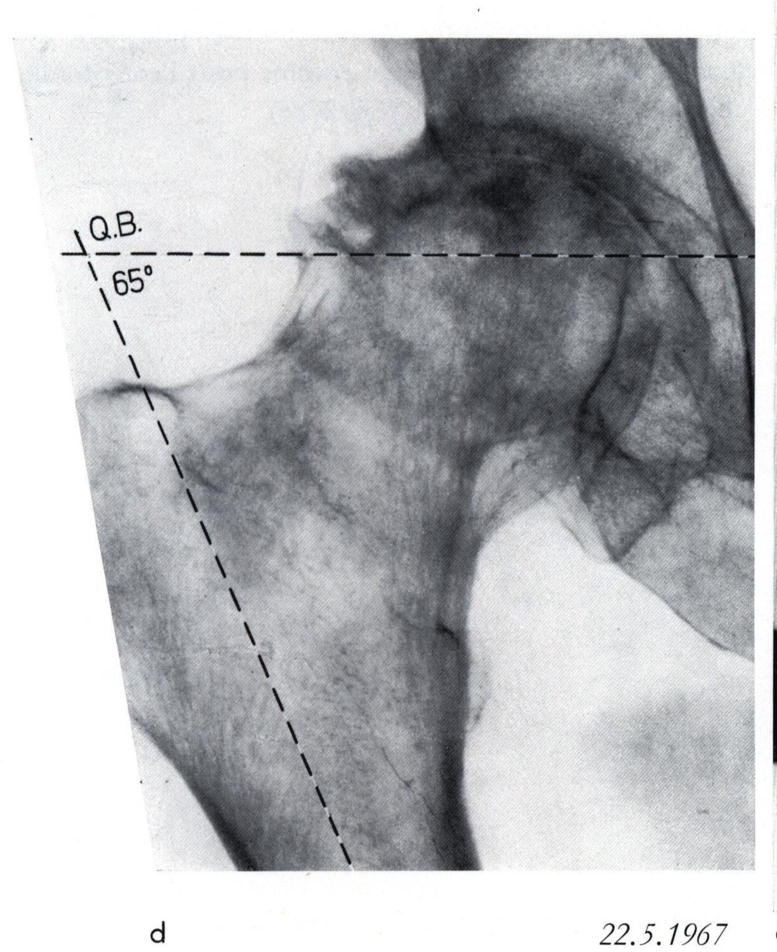
e Régénération de l'articulation avec large interligne articulaire nettement délimité, après l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) et l'élimination simultanée de la malposition en adduction (chirurgien : de Marneffe, Bruxelles)



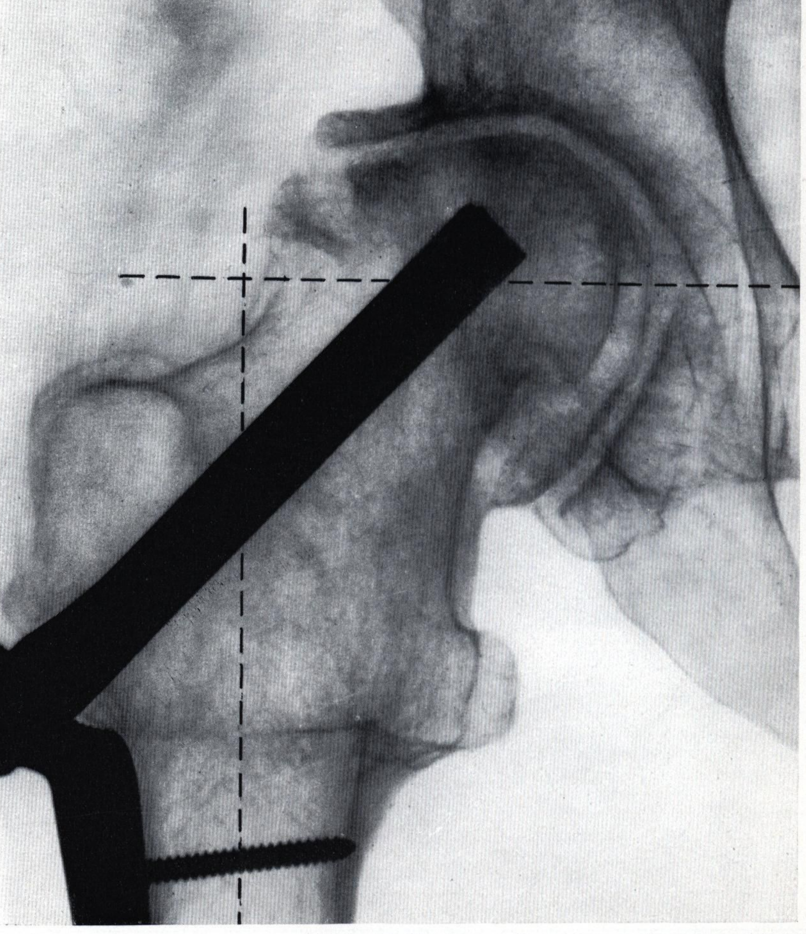
b *3.3.1956*



c *1.3.1962*



d *22.5.1967*



e *17.4.1969 (1 an 9 mois après l'opération)*

Ces deux lignes sont reportées sur le calque de la radiographie de la hanche malade (fig. 278a). On y trace en outre une ligne formant un angle de 80° avec l'axe transversal du bassin et représentant la position qu'assumerait un fémur normal. Dans ce schéma apparaît l'angle dont doit être corrigée la malposition (ici 15°).

Pour déterminer le dosage de l'ostéotomie d'abduction (PII) nécessaire à l'agrandissement de la surface portante, on calque sur une autre feuille de papier transparent l'extrémité supérieure avec le grand trochanter et l'axe diaphysaire du fémur en adduction (fig. 278b). La tête fémorale est placée dans le cotyle de la première feuille, apparaissant par transparence. Elle est tournée dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre jusqu'à ce que non seulement les contours articulaires soient parallèles mais aussi que l'interligne soit à peu près 2 mm plus large au bord du cotyle. L'axe diaphysaire du fémur de la première feuille apparaît par transparence et est calqué. Ici il forme avec celui de la seconde feuille un angle de 15° (fig. 278c).

La préparation graphique (fig. 278d) montre:

a) que la correction de la malposition en adduction requiert une valgisation d'au moins 15°.

b) qu'une valgisation additionnelle de 15° est nécessaire pour agrandir au maximum la surface portante de l'articulation.

Au total, un coin de 30° doit donc être excisé. Sa limite inférieure coupera la diaphyse fémorale à angle droit à hauteur du petit trochanter. Pour terminer, la diaphyse du fémur est déplacée latéralement comme pour l'ostéotomie d'abduction (PII) habituelle (fig. 278e).

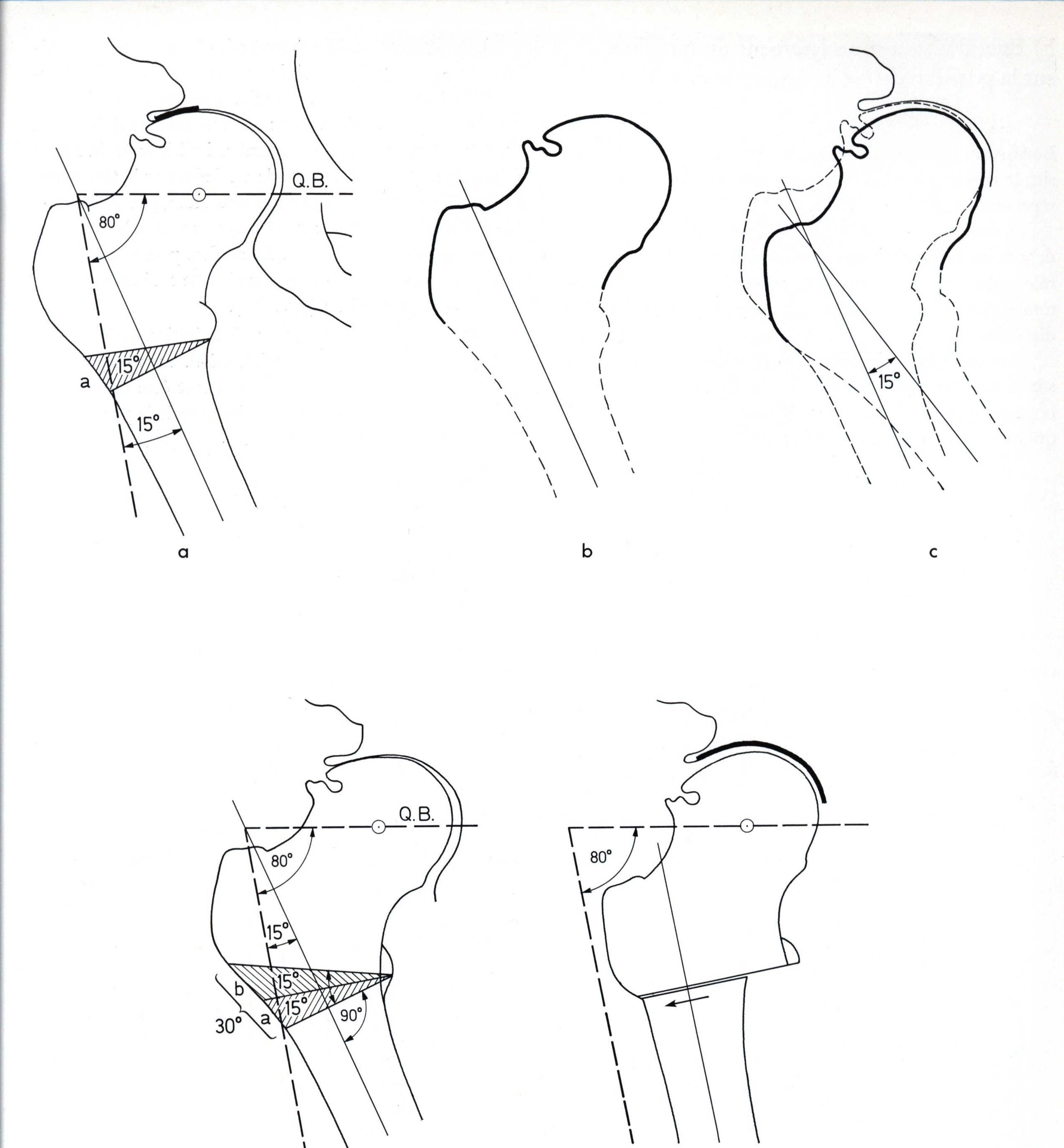


Fig. 278a–e

h) Effet d'un raccourcissement du membre sur la position de la tête fémorale dans le cotyle

Lorsque le raccourcissement d'un membre incline le bassin, le cotyle tourne autour de la tête fémorale comme le représente le schéma fig. 279.

A droite, l'inclinaison du bassin bascule le cotyle en dehors sur la tête fémorale. En d'autres mots, la tête fémorale tourne en dedans dans son cotyle comme après l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) fermant l'angle cervico-diaphysaire.

Simultanément, à gauche le cotyle bascule en dedans sur la tête fémorale. La tête fémorale tourne en dehors comme après l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui ouvre l'angle cervico-diaphysaire.

Une patiente de 42 ans souffrait d'une coxarthrose bilatérale (fig. 280). Du côté droit une ostéotomie d'abduction (PII) était indiquée. Elle fut exécutée et suivie d'un bon résultat (fig. 280d). Pour d'autres raisons il fallait en outre raccourcir de 3 cm le membre inférieur droit. De ce fait, à gauche, le cotyle bascula en dedans et la tête fémorale tourna en dehors dans son acetabulum, par un heureux hasard juste assez pour rendre congruentes les surfaces articulaires de ce côté aussi. La surface portante fut ainsi agrandie au maximum comme après une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) (fig. 280c).

On observa également une régénération de l'articulation gauche, du côté non opéré, c-à-d. sans ostéotomie. Cette régénération ne peut évidemment être due qu'à la réduction de la pression articulaire entraînée par l'agrandissement de la surface portante.

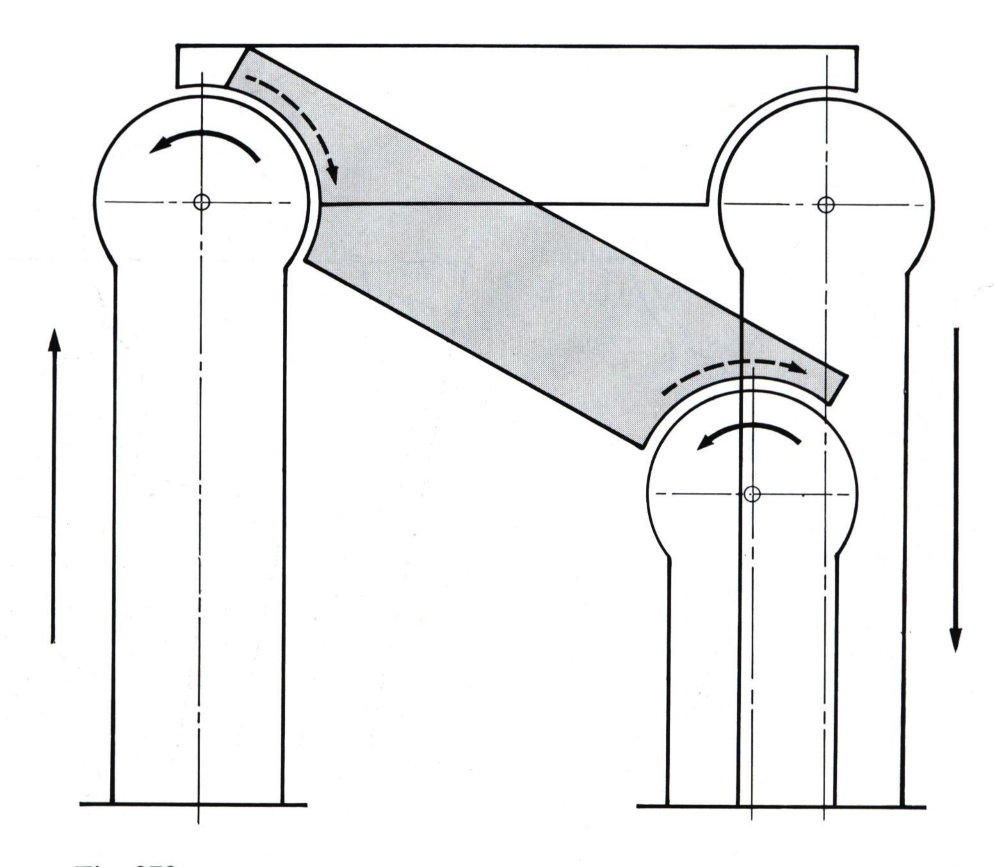
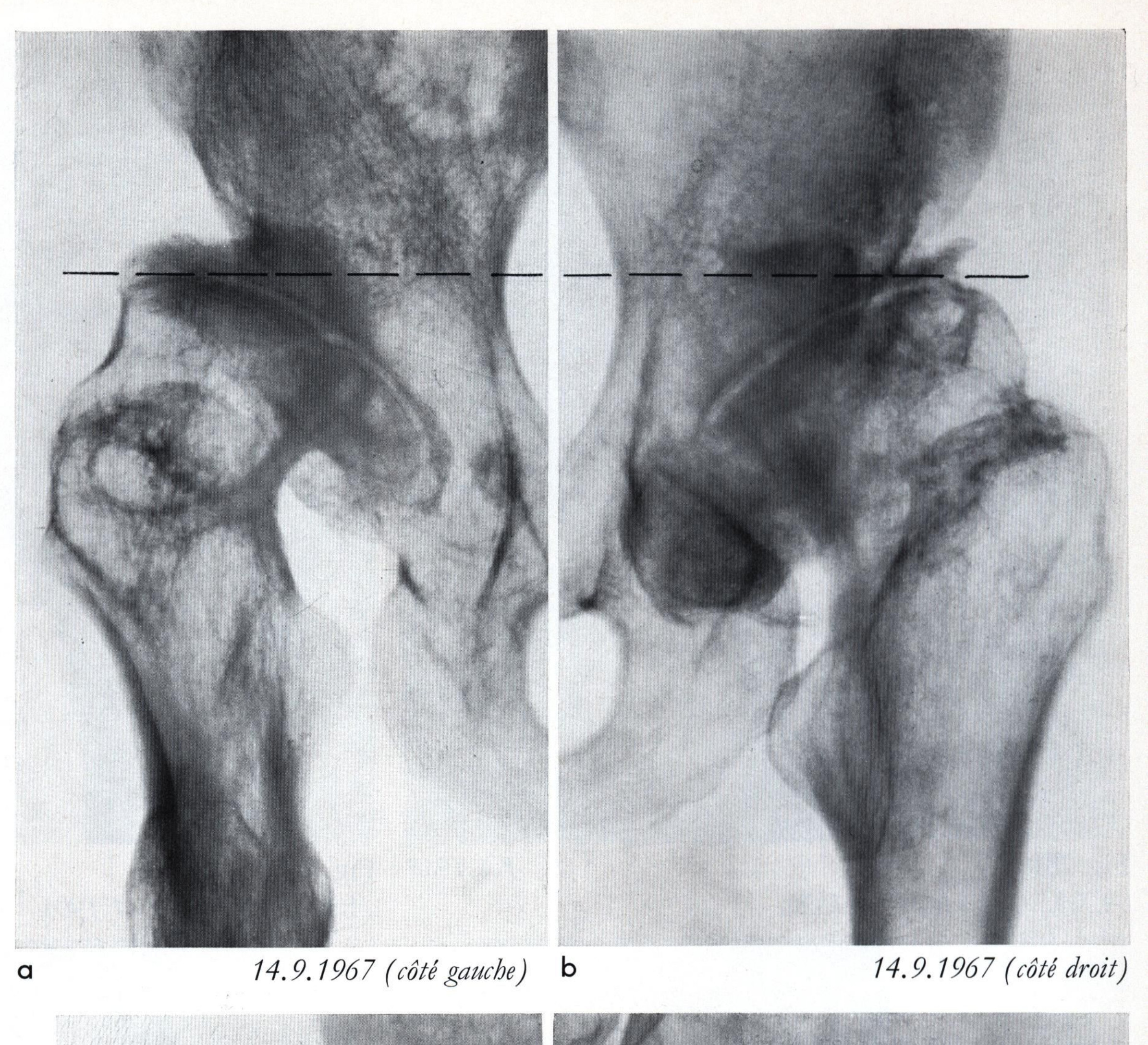


Fig. 279



a *14.9.1967 (côté gauche)* b *14.9.1967 (côté droit)*

c *15.9.1969 (côté gauche)* d *15.9.1969 (2 ans après l'opération) (côté droit)*

Fig. 280a–d
E.T., ♀, née le 16.8.1925,
Opération le 16.9.1967
(à l'âge de 42 ans et 1 mois)
(Cas et opération du docteur G. Geller, Düren)

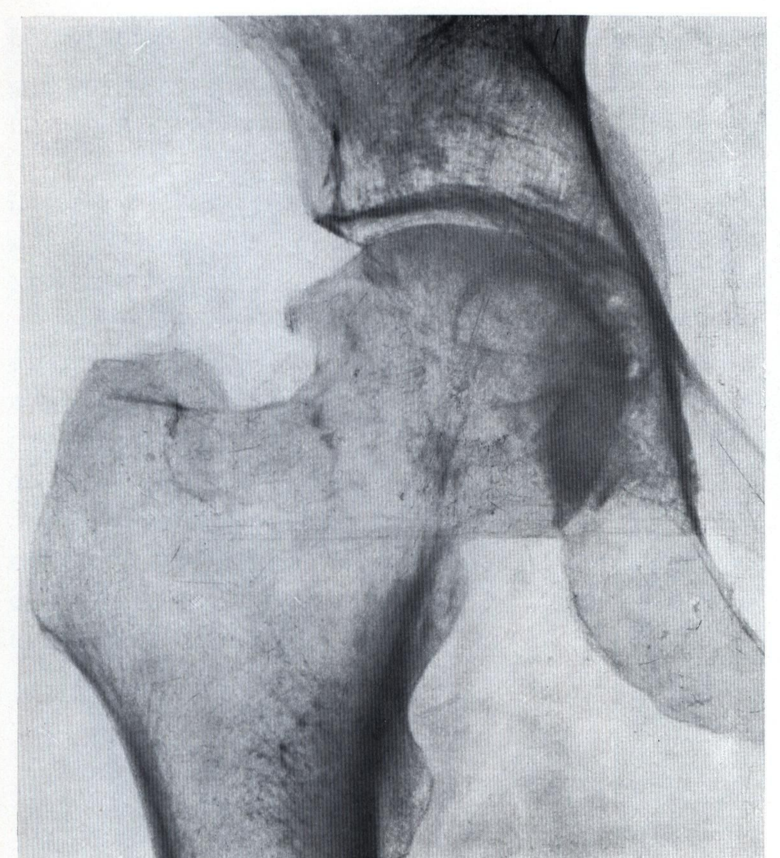


Fig. 281 *3.1.1963*
A.Sch., ♀, née le 19.11.1896

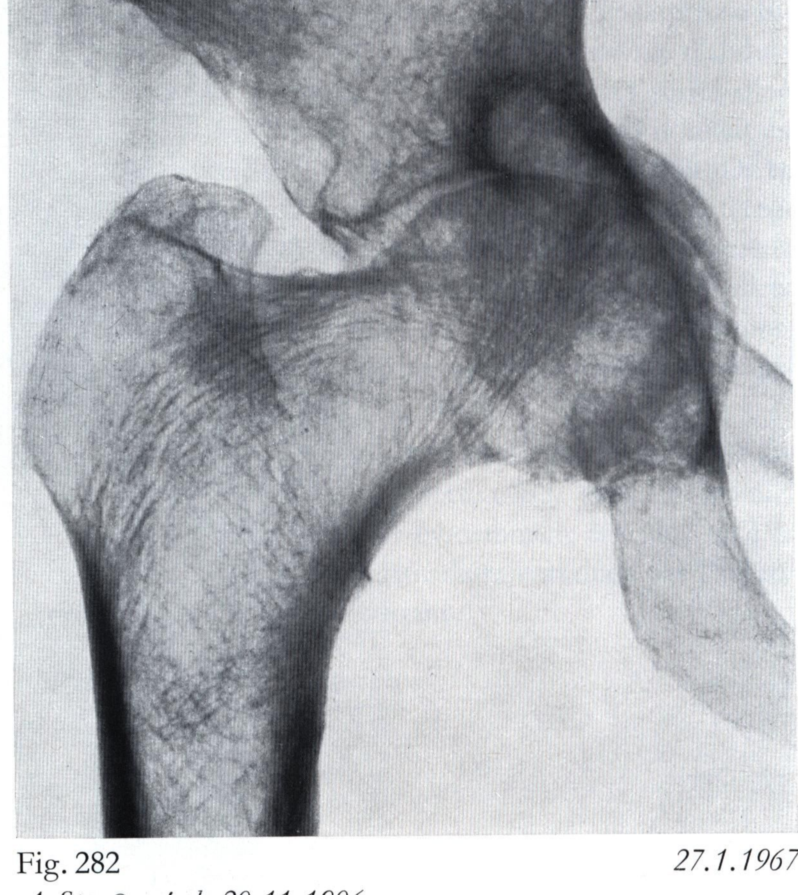


Fig. 282 *27.1.1967*
A.St., ♀, née le 20.11.1906

5. Thérapeutique causale de la coxarthrose protrusive

La protrusion acétabulaire se caractérise par la présence de la tête fémorale dans un cotyle creusé en dedans de sorte que sa paroi profonde est plus ou moins amincie et peut faire saillie dans le bassin (fig. 281 et 282). Ce bombement provient de l'action de la composante transversale Q de la force de compression résultante R sur un fond de cotyle pathologiquement malléable (fig. 283a). La pression articulaire augmente vers le fond de l'acetabulum à cause du déplacement de la tête fémorale, ce que traduit l'accroissement d'épaisseur du sourcil dans cette zone (fig. 281) de même que la localisation du kyste, à un stade plus avancé de l'affection (fig. 282).

Une thérapeutique causale de la protrusion acétabulaire doit réduire la pression articulaire augmentée et concentrée dans le fond de l'articulation et la répartir sur une plus grande partie de la surface articulaire. Mais elle doit aussi et surtout réduire la grandeur relative de la composante transversale Q de la force de compression résultante (fig. 283b).

C'est pourquoi l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII) est indiquée à tous les stades de l'évolution de la coxarthrose protrusive.

La radiographie (fig. 284a) est l'image d'une protrusion acétabulaire chez une patiente de 59 ans. A la suite de l'approfondissement du cotyle, la tête fémorale est déplacée en dedans. L'interligne est fortement aminci dans le fond de l'acetabulum et dans cette région le sourcil a augmenté d'épaisseur.

La radiographie (fig. 284b) est prise 4 ans après l'ostéotomie d'abduction (PII).

Grâce à l'ouverture de l'angle cervico-diaphysaire:

1. la surface portante articulaire est élargie latéralement, ce qui diminue la pression articulaire. La régression de l'aspect cunéiforme du sourcil le démontre.
2. la composante transversale Q de la force de compression résultante est relativement réduite (fig. 283a et b).

La décharge du fond du cotyle ainsi obtenue se traduit par l'élargissement de l'interligne articulaire dans cette région (fig. 284b).

Fig. 284a et b ▶
M.H., ♀, née le 21.4.1901,
Opération le 26.1.1960 (à l'âge de 58 ans et 9 mois)

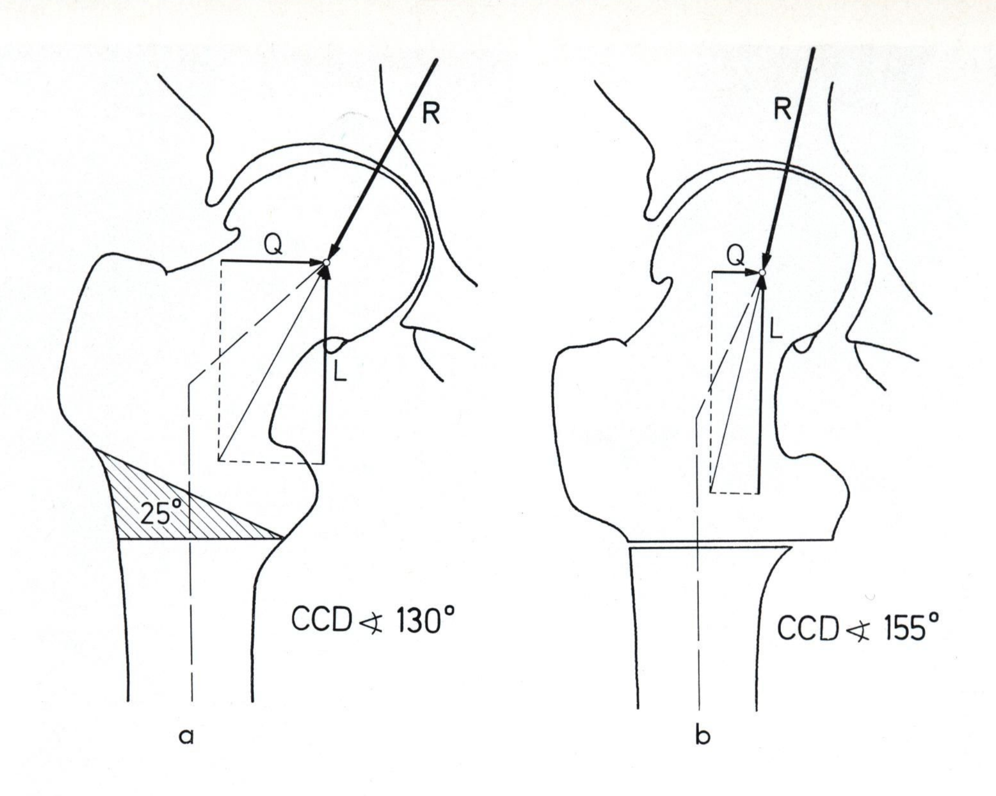
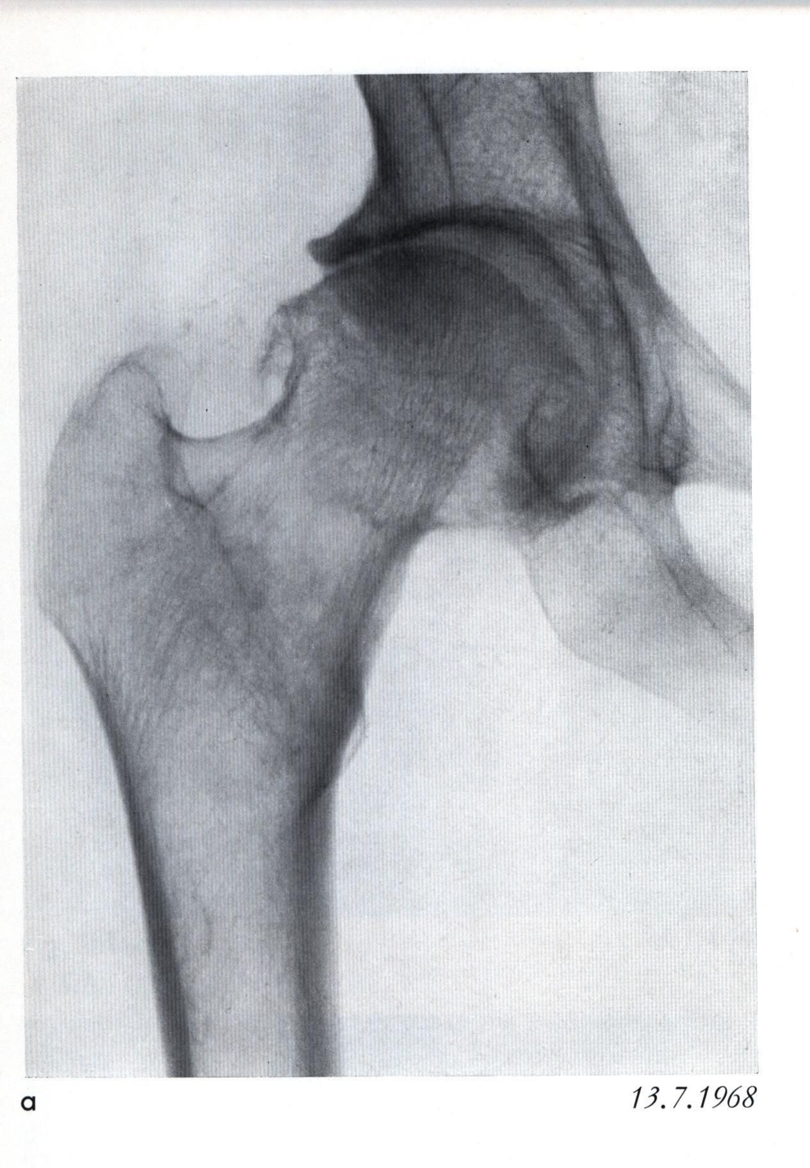


Fig. 283a et b

a *27.7.1959*

b *3.6.1964 (4 ans 4 mois après l'opération)*



a 13.7.1968

b 13.7.1968

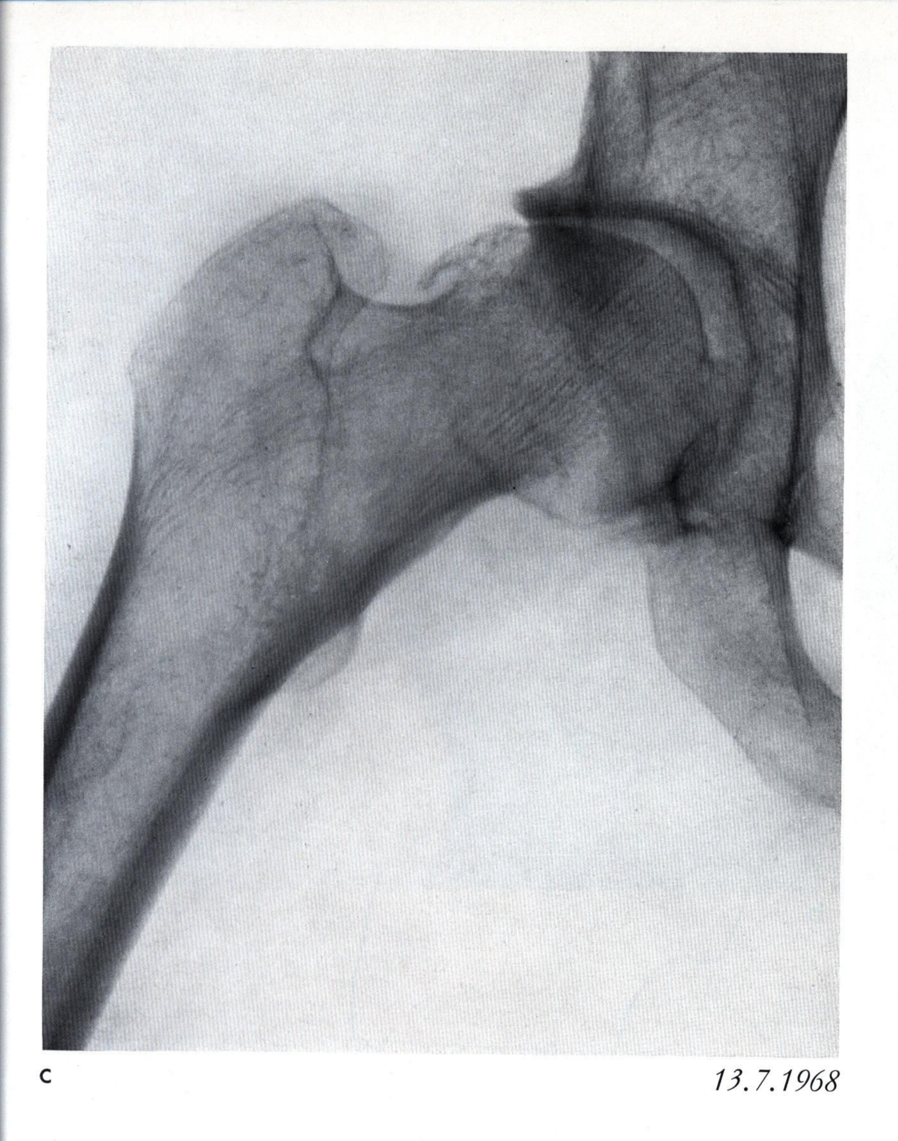
Fig. 285a–c

6. Problème de l'indication des ostéotomies PI et PII

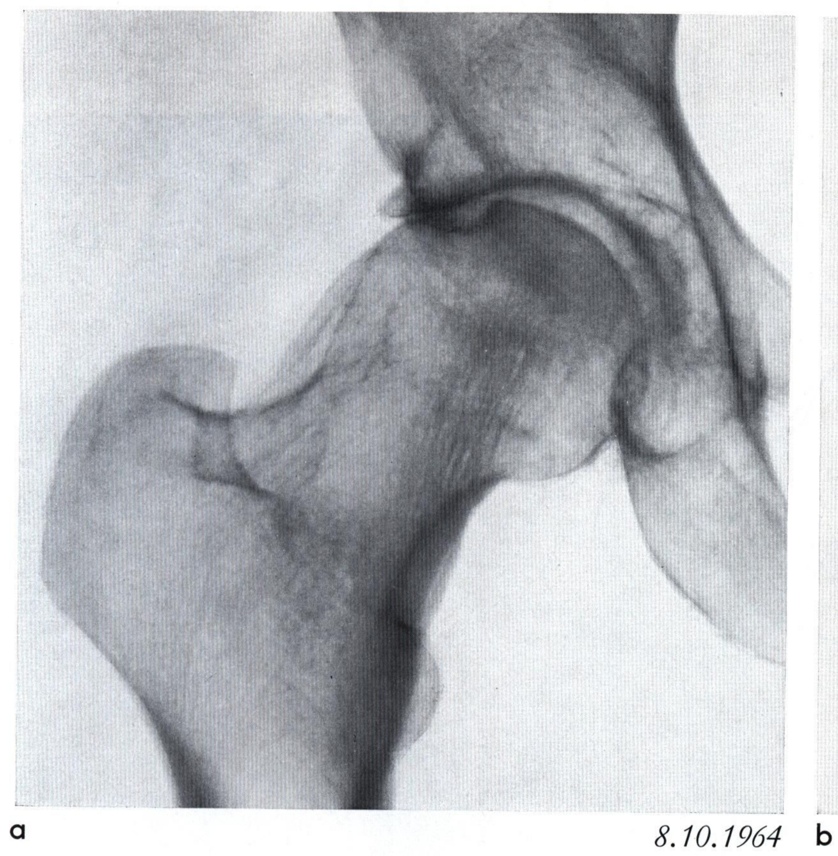
a) Pas d'indication

Il y a des cas de coxarthrose où la congruence indispensable des surfaces articulaires ne peut s'obtenir ni en tournant la tête fémorale en dedans ni en la tournant en dehors. Les radiographies (fig. 285a–c) en adduction et en abduction le mettent en évidence. Dans de tels cas, aucune des deux interventions décrites n'est indiquée.

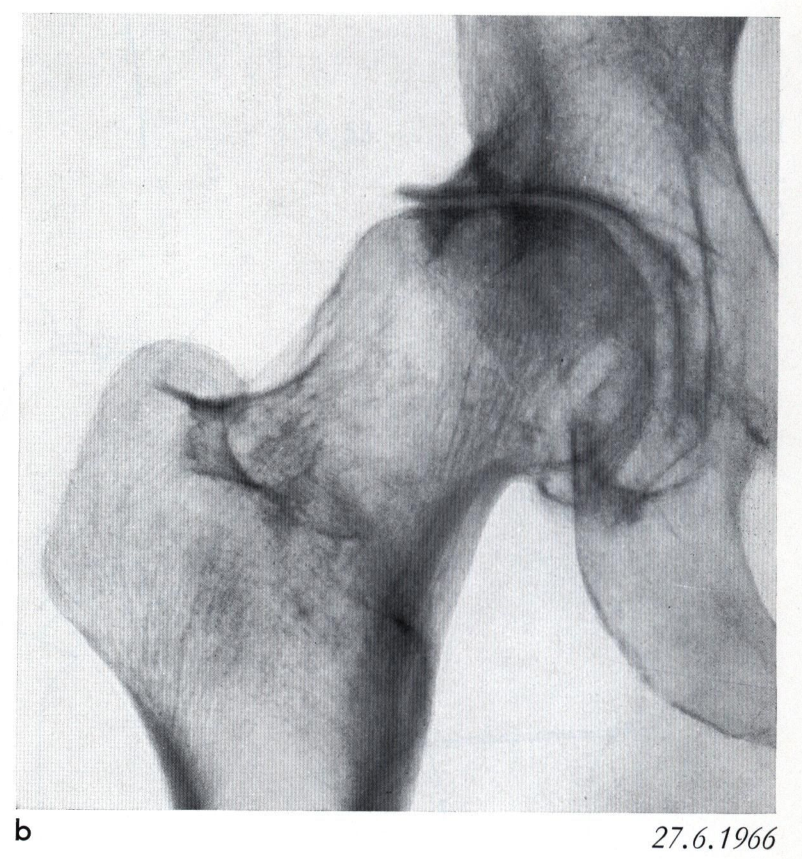
Cependant, lors de l'évolution ultérieure de la coxarthrose, les processus de résorption au rebord du cotyle, où la pression est concentrée, entraînent souvent une congruence des contours articulaires par effondrement de la zone creusée de kystes. Les cas fig. 286b et 287b en sont des exemples. Il est donc souhaitable d'attendre jusqu'à ce que ce stade soit atteint. A ce moment, la réduction de la pression articulaire par une opération de détente selon *Voss* avec, en plus, ténotomie du psoas iliaque, peut souvent suffire à entraîner la régénération de l'articulation (fig. 287c).



c 13.7.1968

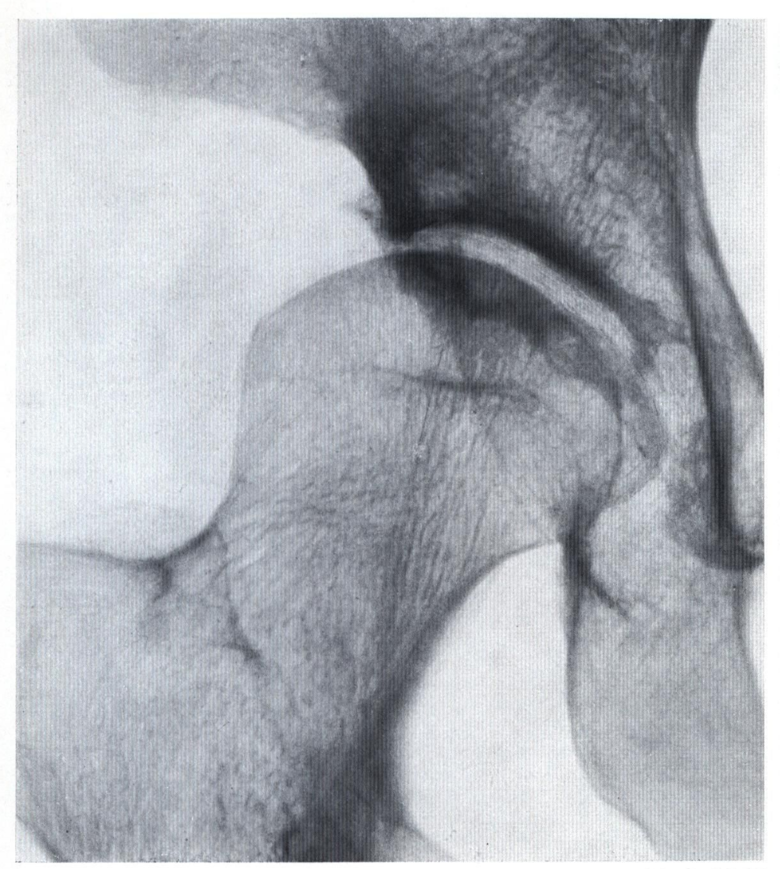


a 8.10.1964

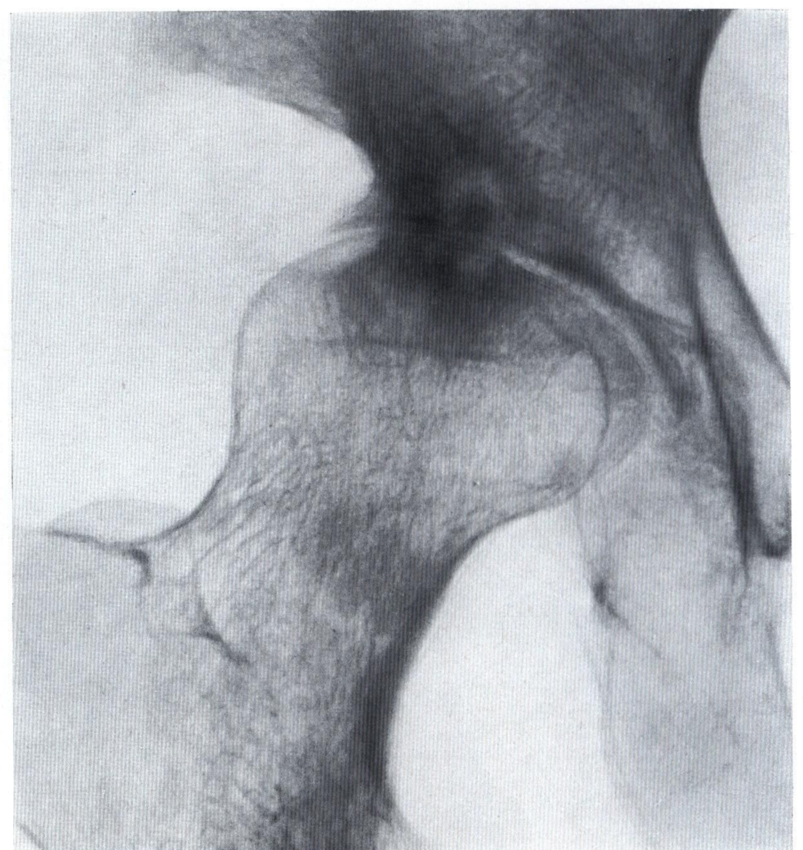


b 27.6.1966

Fig. 286a et b
L.L., ♀, née le 13.10.1901

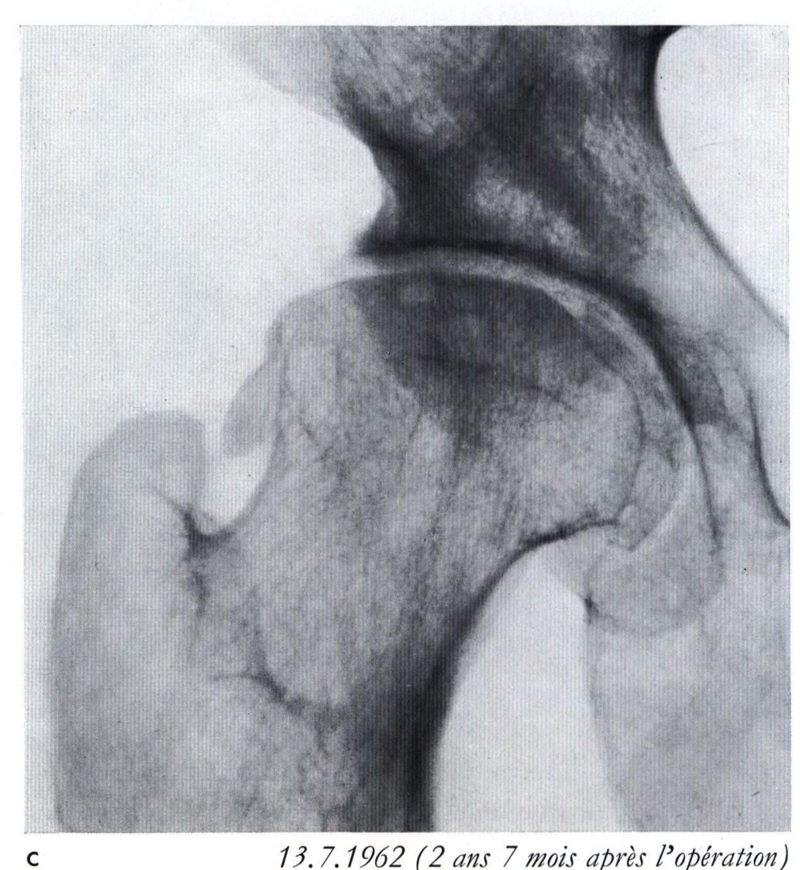


a *28.2.1957*



b *15.10.1959*

Fig. 287a–c
S.L., ♀, née le 24.3.1907,
Opération le 3.12.1959
(à l'âge de 52 ans et 8 mois)



c *13.7.1962 (2 ans 7 mois après l'opération)*

b) Changement d'indication au cours de l'évolution de la coxarthrose

Dans d'autres cas, l'évolution de la coxarthrose au cours des années peut altérer tellement les contours articulaires que, dans un premier stade, une ostéotomie varisante d'adduction (PI) est indiquée (fig. 288b) et, à un stade plus tardif, l'indication change. A ce moment, seule une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) peut agrandir la surface portante articulaire (288e). La préparation graphique (fig. 288a–e) réalisée pour le même cas à $6^1/_2$ ans d'intervalle le montre.

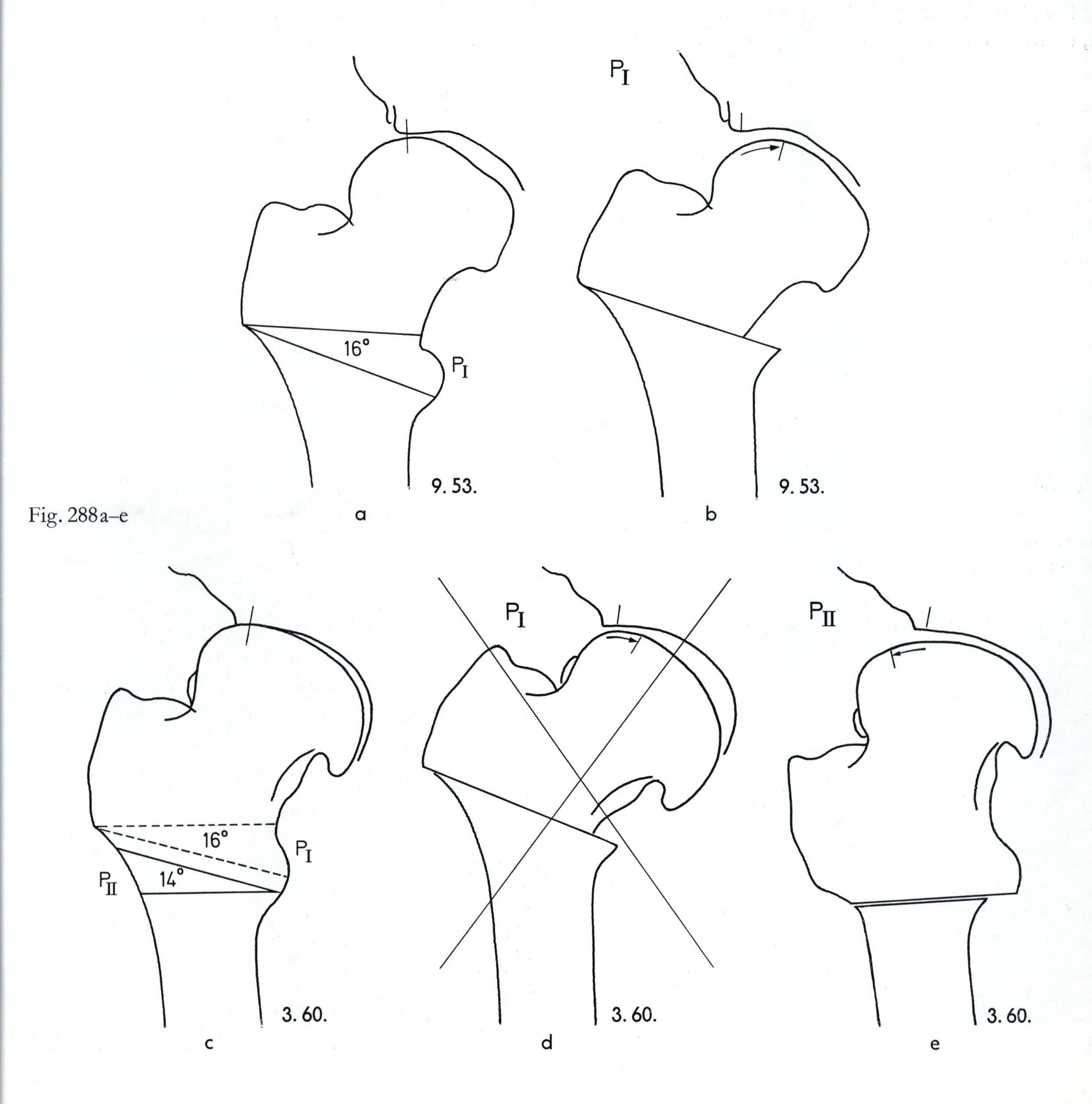


Fig. 288a–e

c) Echecs après des opérations d'indication erronée

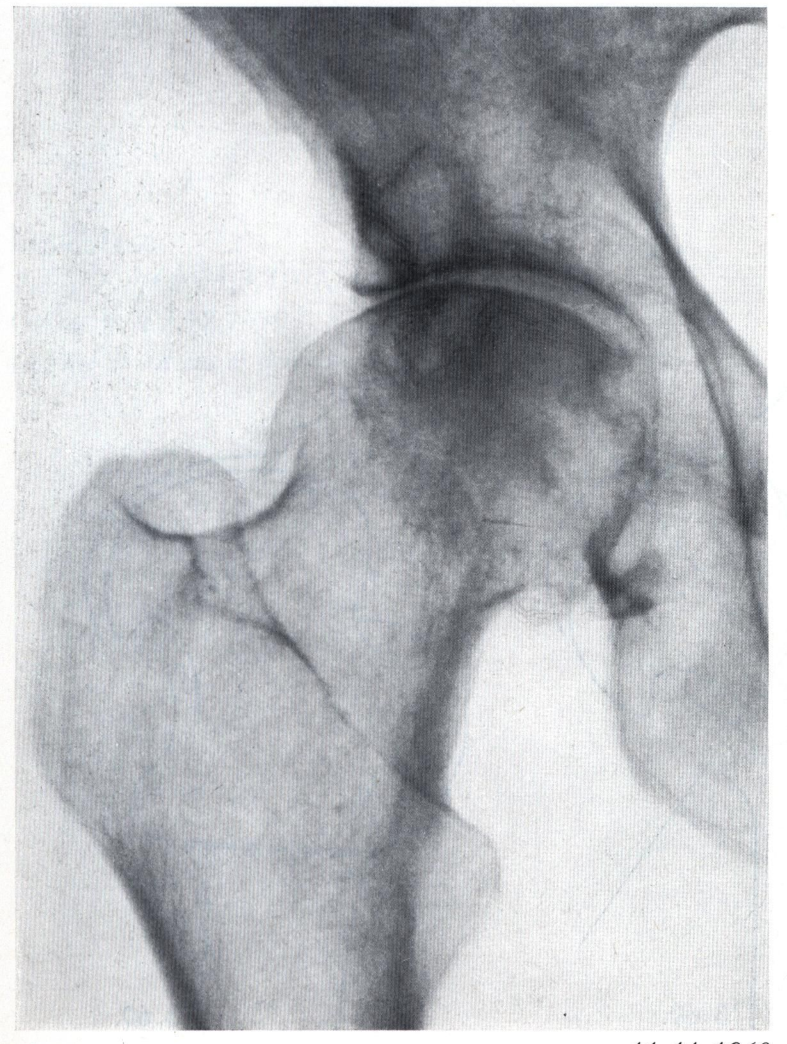
Des échecs dus à une mauvaise indication surviennent tôt ou tard mais avec certitude lorsque, malgré des surfaces articulaires incongruentes, on s'est contenté de réduire la force de compression exercée sur la hanche, par exemple par une intervention de *Voss*. Ces échecs proviennent de ce que la surface portante réduite par l'incongruence, principale responsable de la pression articulaire élevée, reste inchangée.

Le cas fig. 289 en fournit l'exemple. Après l'opération de *Voss*, les altérations pathologiques ont encore progressé et, au terme d'une courte rémission, les douleurs se sont aggravées [la même remarque vaut pour l'ostéotomie de translation selon *McMurray* (fig. 296b)].

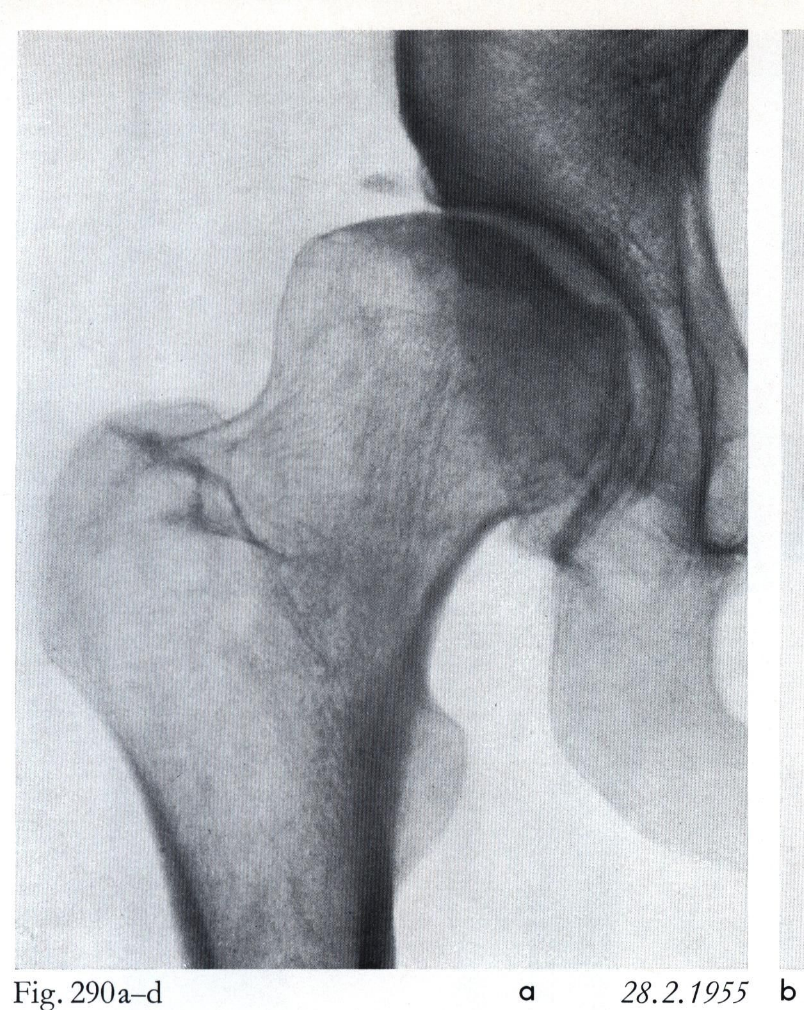
De même, après ostéotomie varisante d'adduction (PI), des échecs sont inévitables lorsqu'un ostéophyte en goutte empêche la tête fémorale de rentrer suffisamment loin dans le cotyle pour que sa rotation en dedans augmente la surface portante articulaire. Le schéma fig. 292 l'illustre. Dans de tels cas, l'ostéotomie varisante d'adduction n'est donc pas indiquée. Les radiographies des 3 cas suivants (fig. 290 à 293) le démontrent.

La progression de la sclérose triangulaire au bord du cotyle traduit l'augmentation de la pression articulaire après l'opération. Elle explique l'aggravation des altérations pathologiques et l'accroissement des douleurs chez les patients.

Fig. 289a et b
C.K., ♀, née en 1899,
Opération le 3.1.1961 (à l'âge de 61 ans)



a *11.11.1960* b *17.10.1962 (1 an 8 mois après l'opération)*



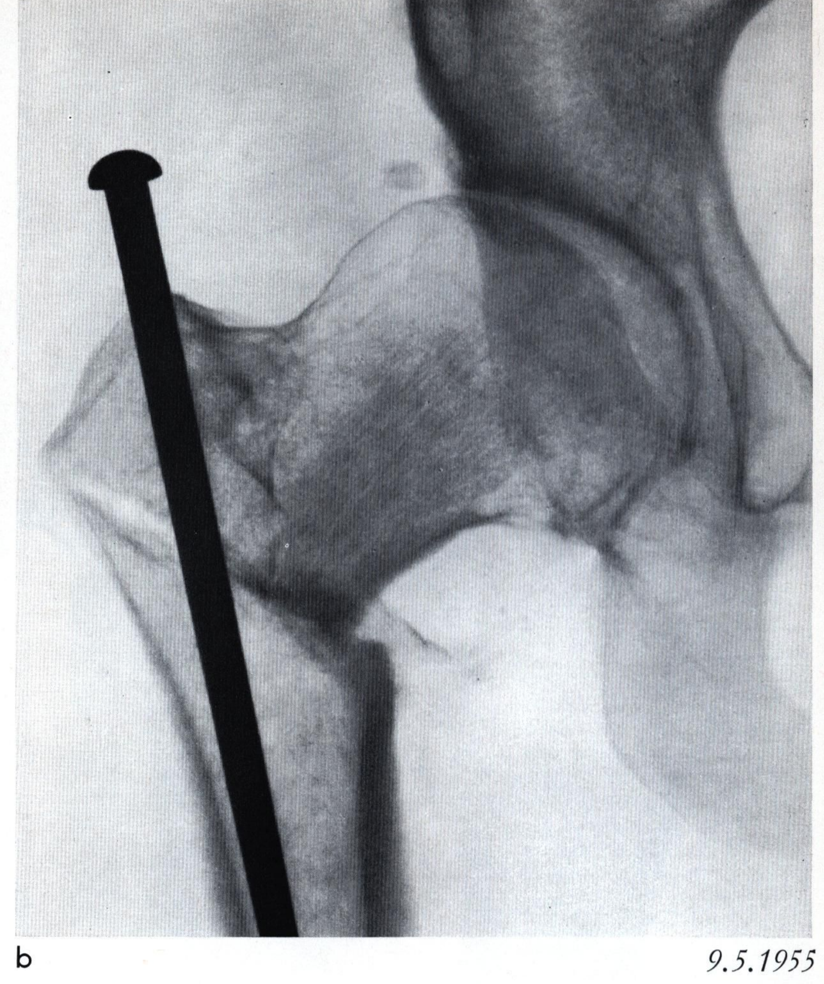
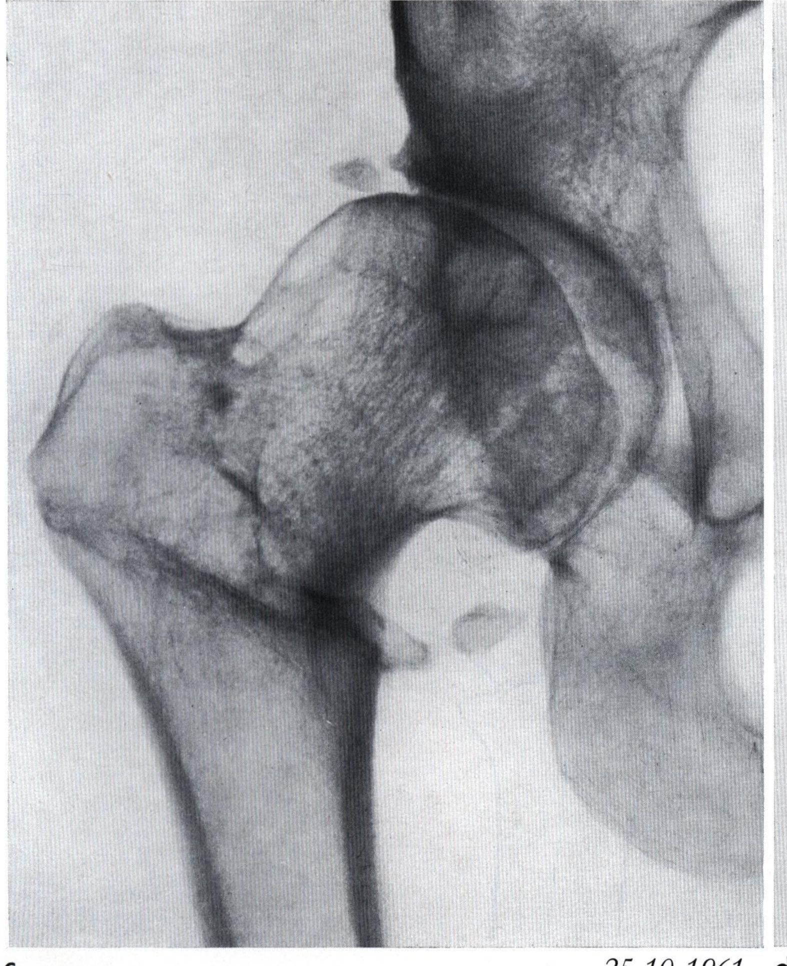


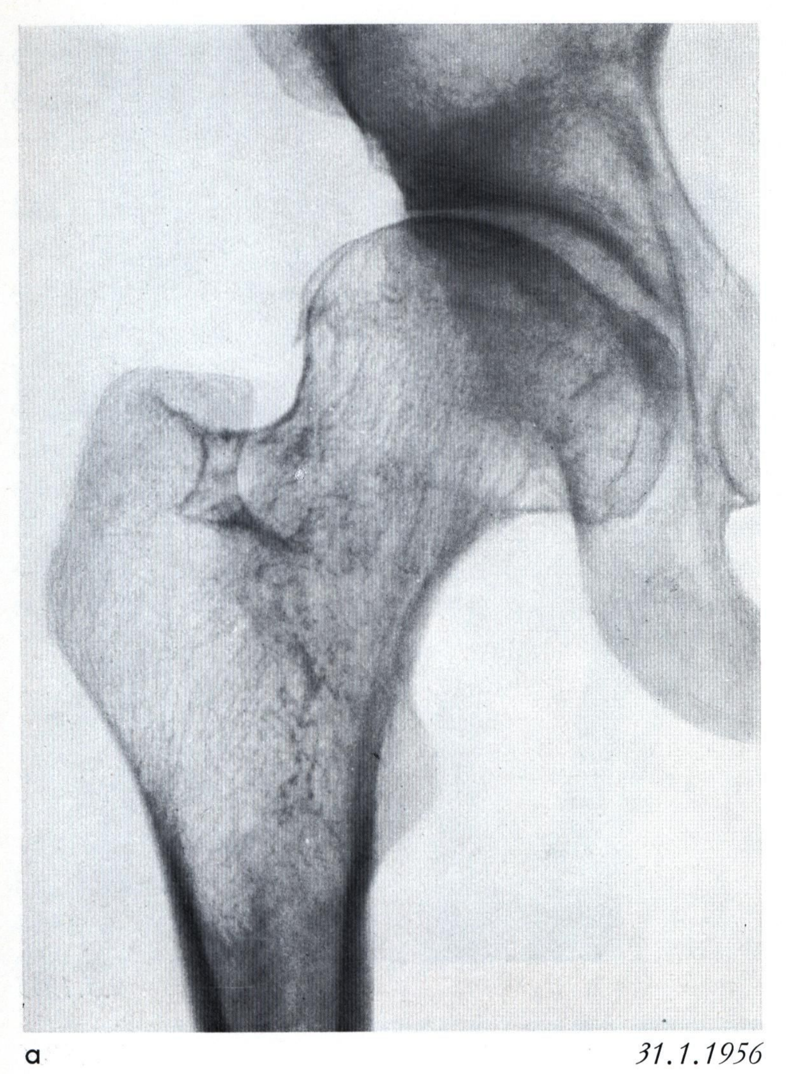
Fig. 290a–d a *28.2.1955* b *9.5.1955*

E.A., ♀, née le 4.4.1909,
Opération le 29.3.1955 (à l'âge de 46 ans)

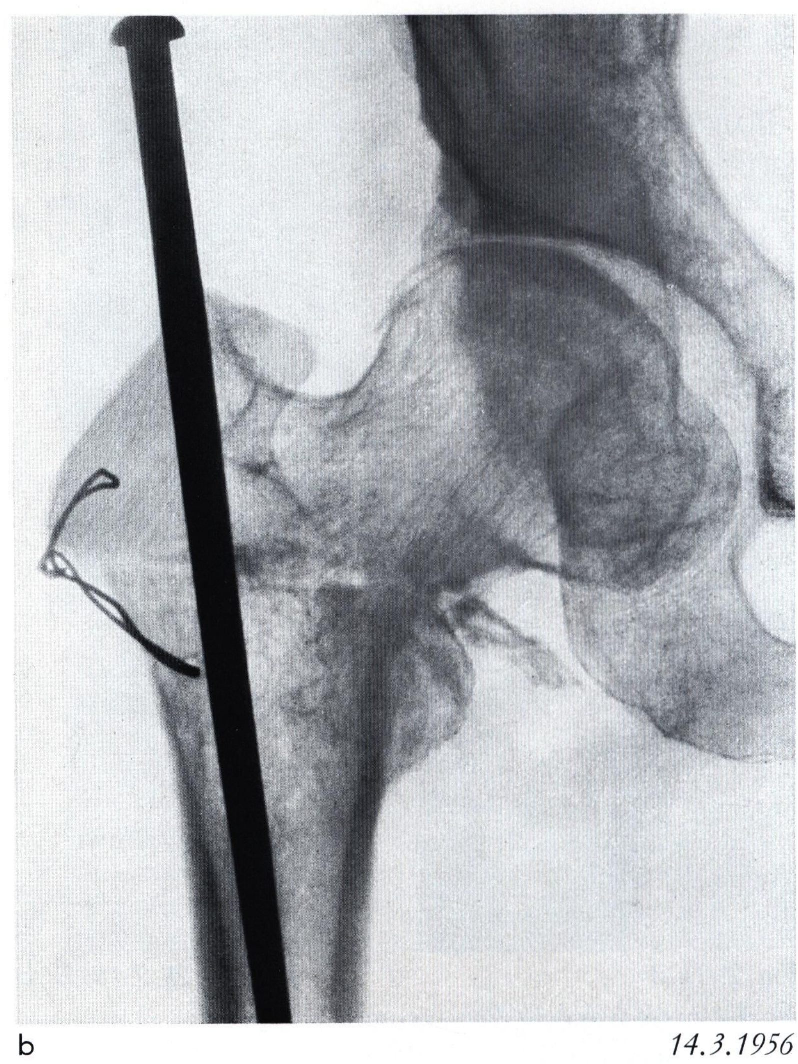




c *25.10.1961* d *26.2.1964*

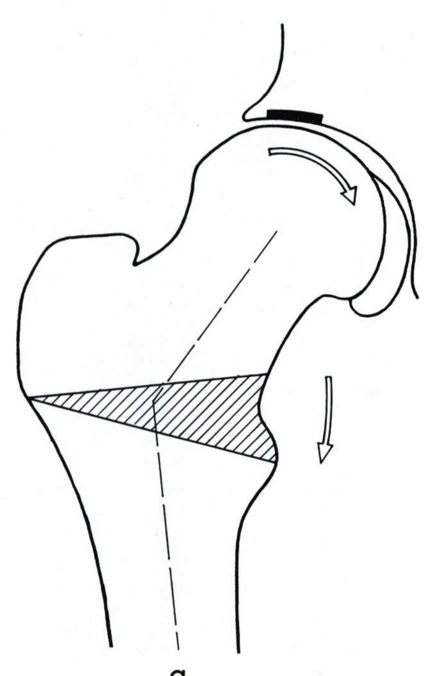
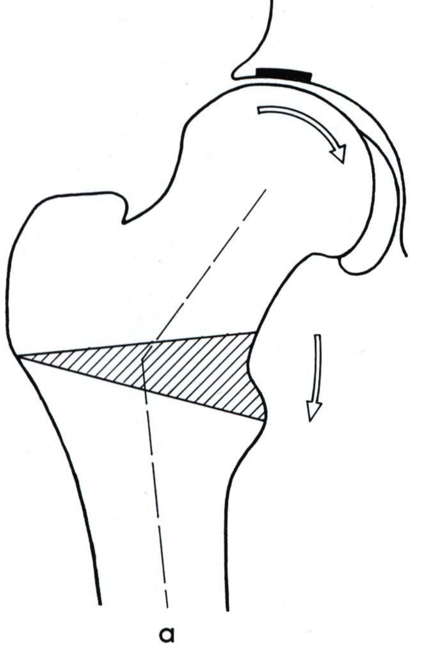


a 31.1.1956

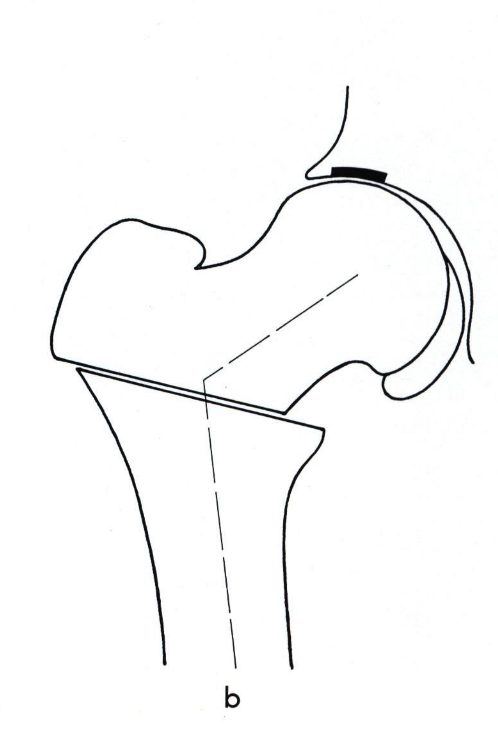


b 14.3.1956

Fig. 291 a–d
M.B., ♀, née le 2.2.1916,
Opération le 2.2.1956 (à l'âge de 40 ans)

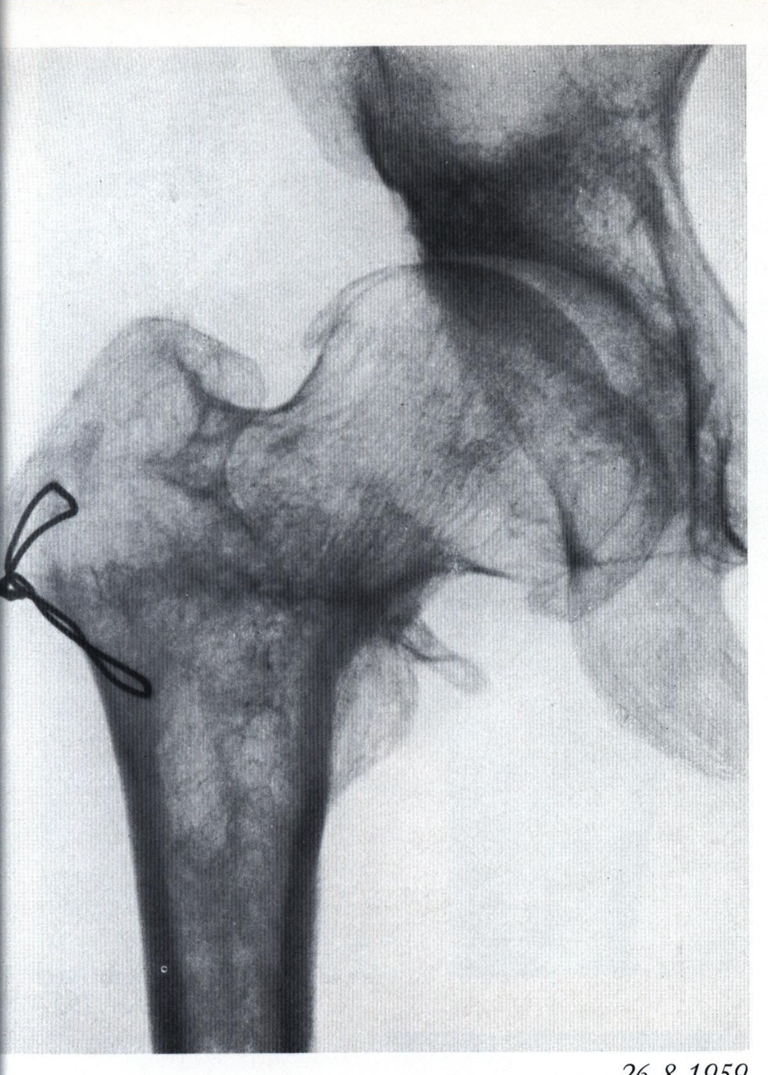



a

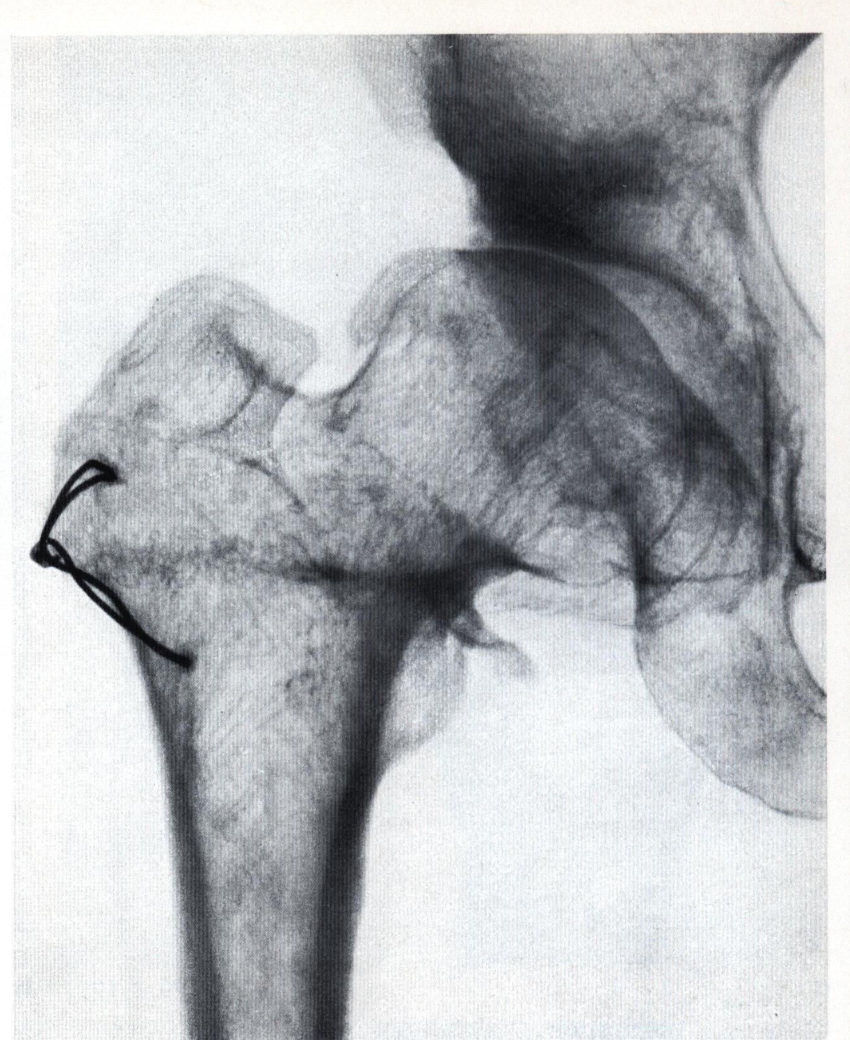


b

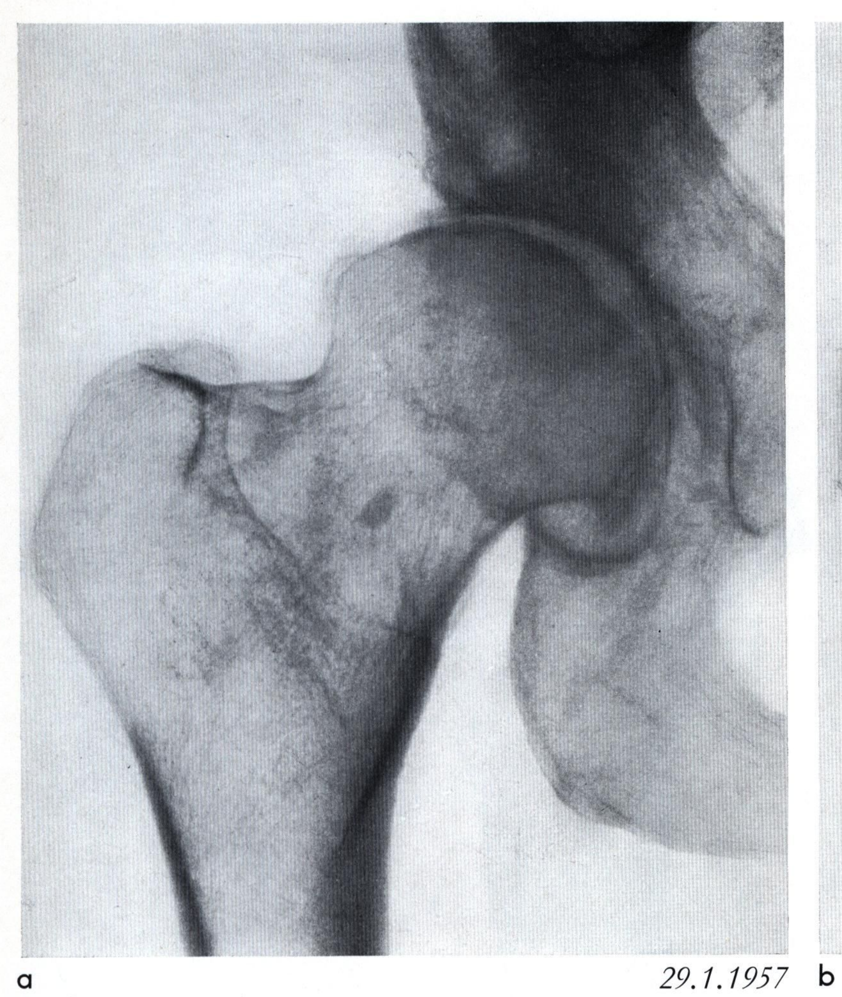
Fig. 292a et b



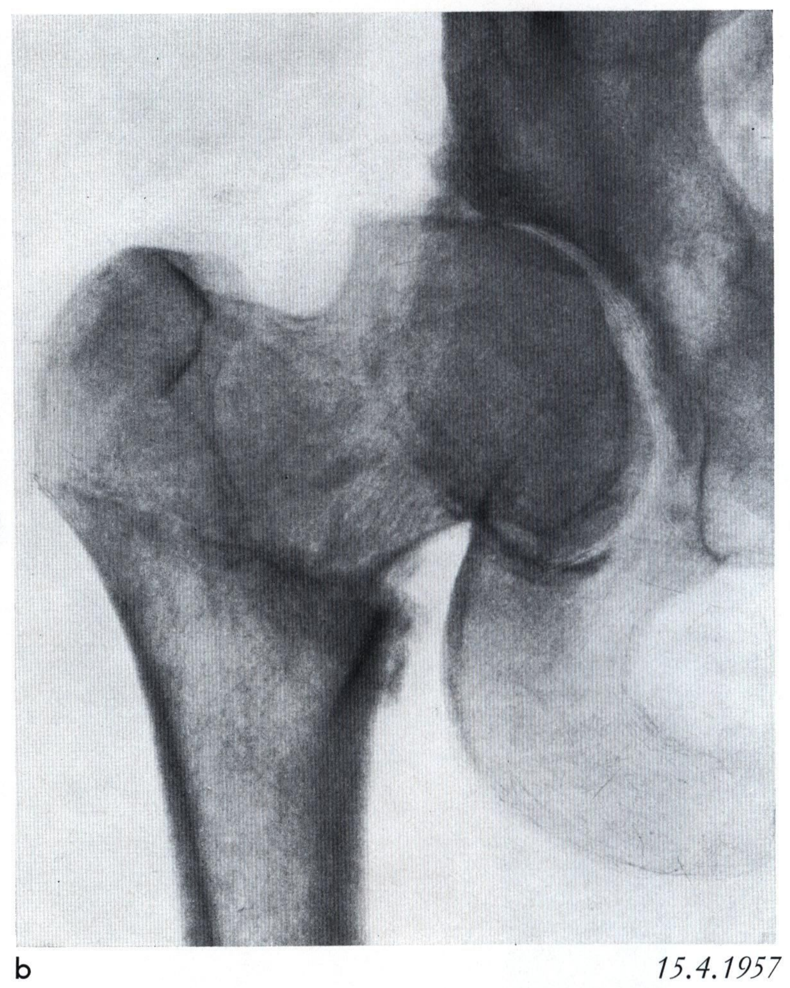
26.8.1959



d 27.1.1964



a *29.1.1957*



b *15.4.1957*

c *19.1.1958*

Fig. 293a–c
F.N., ♂, né le 5.7.1908,
Opération le 30.1.1957 (à l'âge de 48 ans et 7 mois)

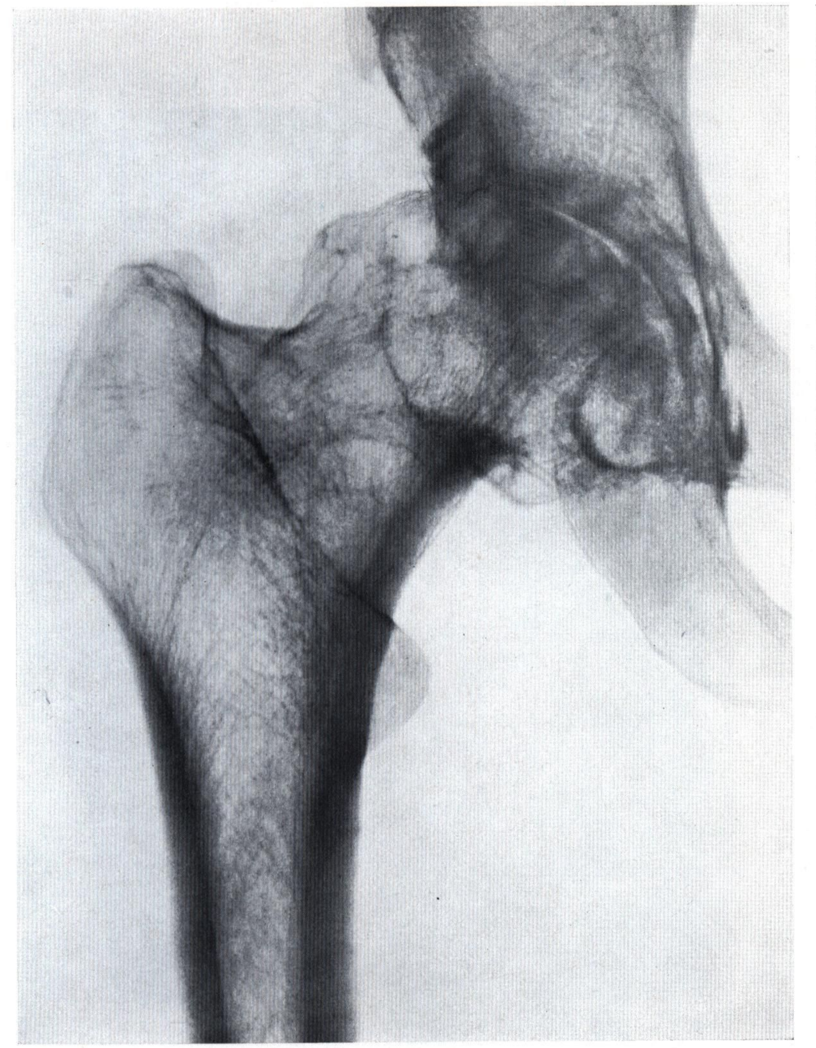
d) Réopération après échecs dus à une indication erronée

Les échecs dus à une mauvaise indication peuvent et doivent être réopérés. L'expérience montre qu'une réintervention avec indication correcte permet d'obtenir un bon résultat durable. Les radiographies suivantes le démontrent (fig. 294–297).

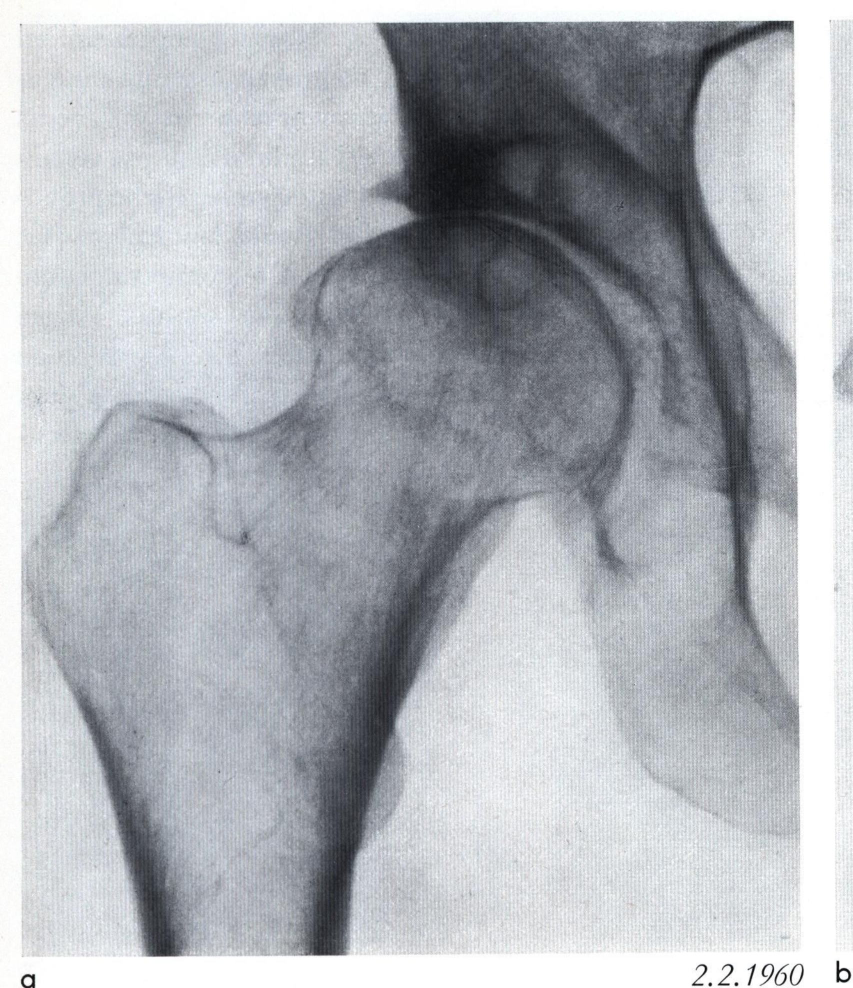
Les radiographies fig. 294a et b sont celles d'une patiente de 51 ans porteuse d'une coxarthrose fort avancée. Au bord de l'acetabulum l'interligne a disparu. Il existe des pseudo-kystes dans la tête et dans le cotyle (fig. 294a).

La patiente avait été opérée deux ans auparavant en Italie, d'après *Scaglietti*, mais continuait à souffrir intensément. Sa hanche était pratiquement enraidie. Je l'avertis de ce que le succès d'une réintervention n'était pas certain du fait de la réduction de la vascularisation artérielle provoquée par la première intervention. Souhaitant malgré tout être réopérée, la patiente subit une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui était indiquée dans son cas. Malgré mes réserves, cette réopération entraîna la régénération de l'articulation avec formation d'un large interligne (fig. 294b). Les douleurs disparurent complètement. Les mouvements restèrent limités au tiers de la normale.

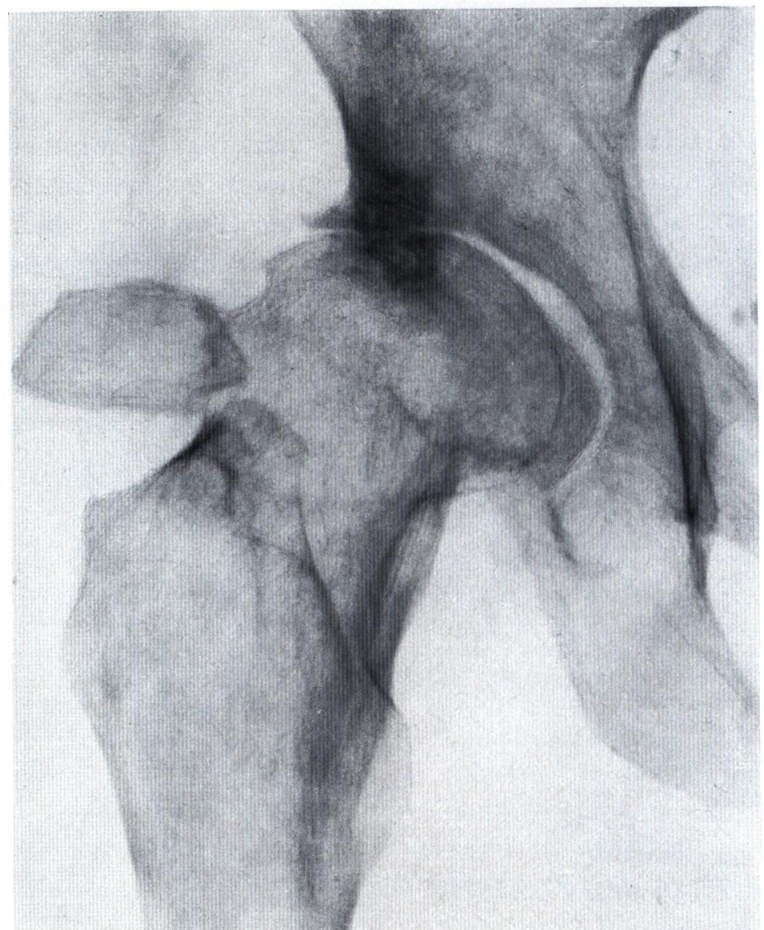
Fig. 294a et b
R.T., ♀, née le 27.5.1911,
Opération le 4.6.1962 (à l'âge de 51 ans)



a *23.5.1962* b *20.1.1965 (2 ans 7 mois après la réopération)*

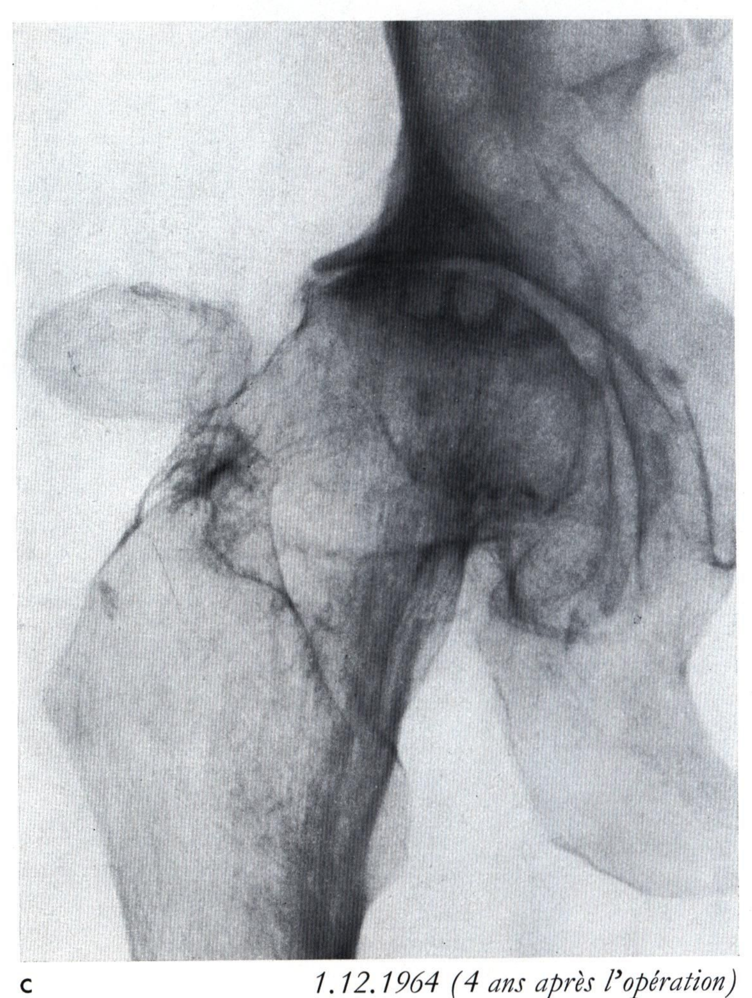


a 2.2.1960



b 17.10.1961

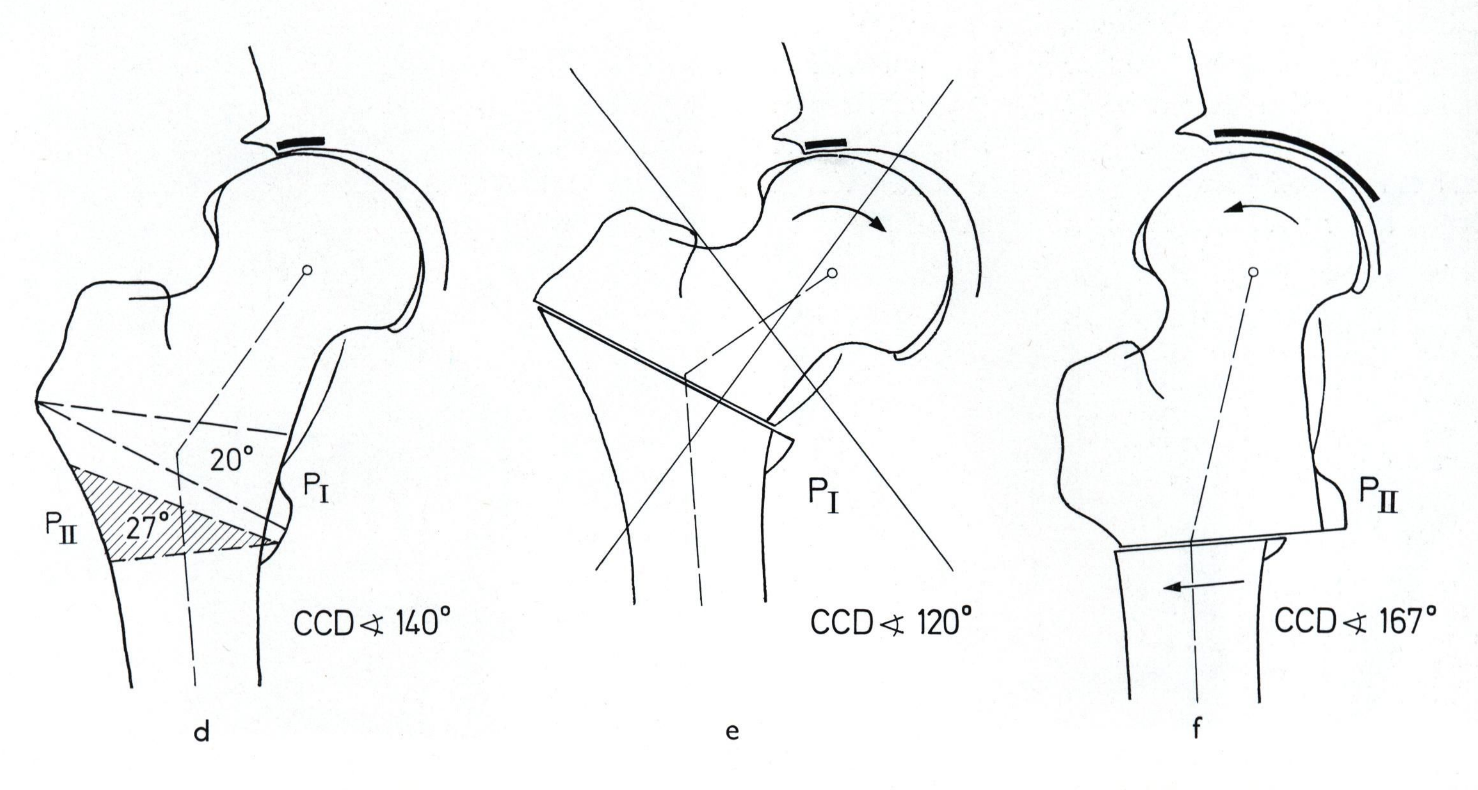
Fig. 295a–h
C.C., ♀, née en 1903,
1. opération en 1960 (à l'âge de 57 ans)
2. opération le 4.12.1964 (à l'âge de 61 ans)

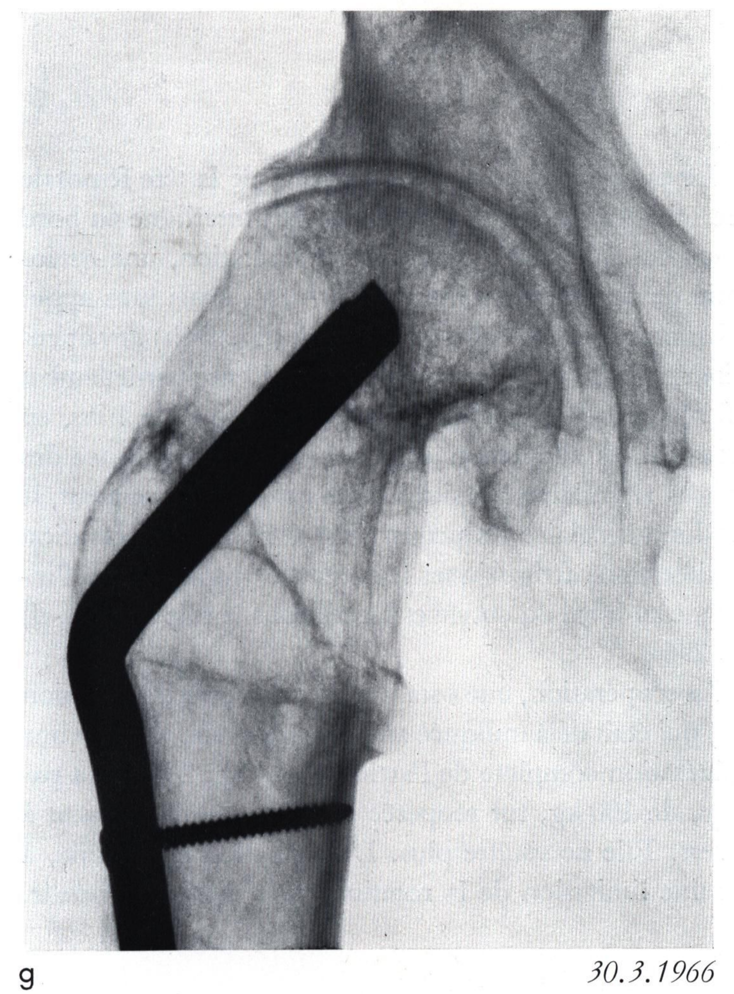


c *1.12.1964 (4 ans après l'opération)*

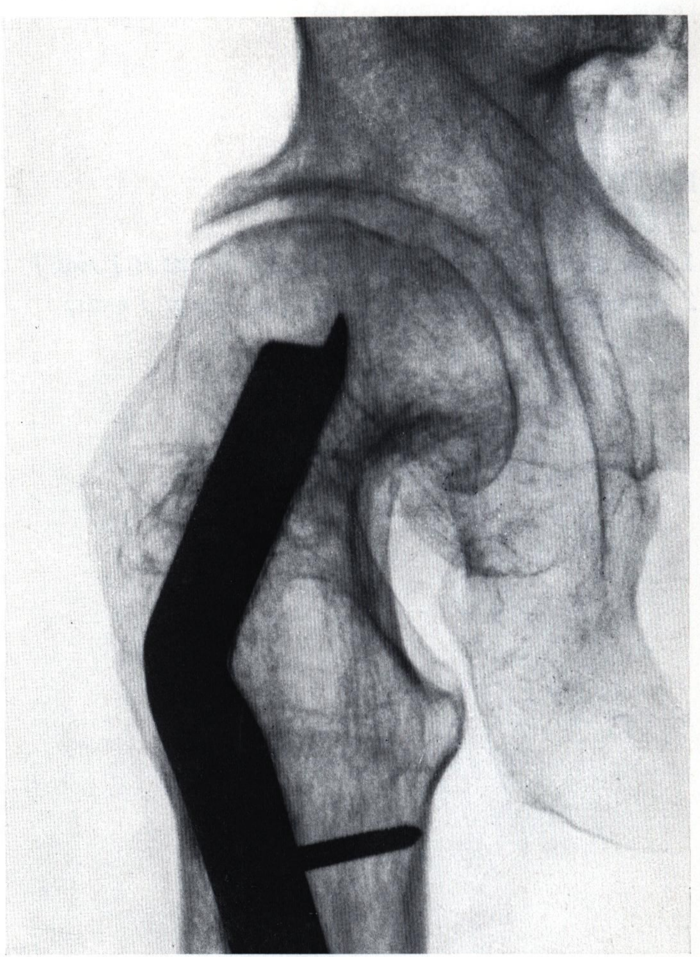
Dans le cas fig. 295a–c, on aurait pu prévoir que l'opération de *Voss* devait entraîner un mauvais résultat à cause de l'incongruence des surfaces articulaires (fig. 295b et c). Comme le montre la préparation graphique de la réintervention, dans ce cas une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) était nécessaire pour augmenter au maximum la surface portante et ainsi réduire considérablement la pression articulaire (fig. 295d–f).

Effectuée par mon élève *Maquet* à Liège, la réopération donna un bon résultat comme il fallait s'y attendre. Les fig. 295g et h l'illustrent.

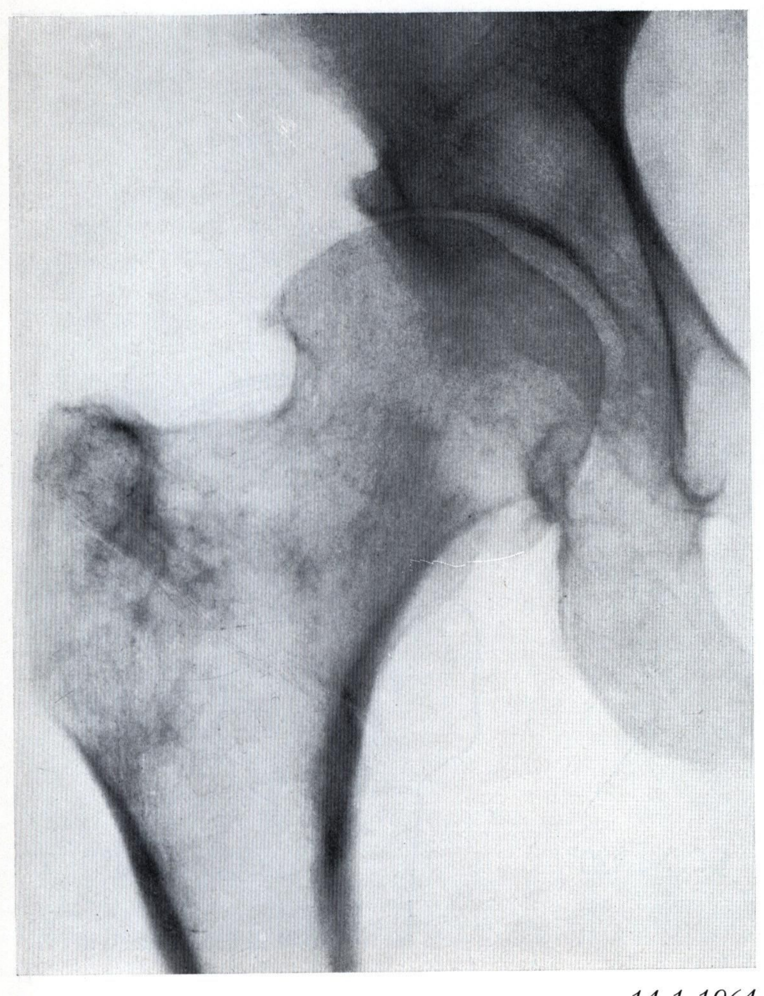




g *30.3.1966*



h *15.1.1969 (4 ans 1 mois après la réopération par le docteur P. Maquet, Liège)*


a 14.1.1964

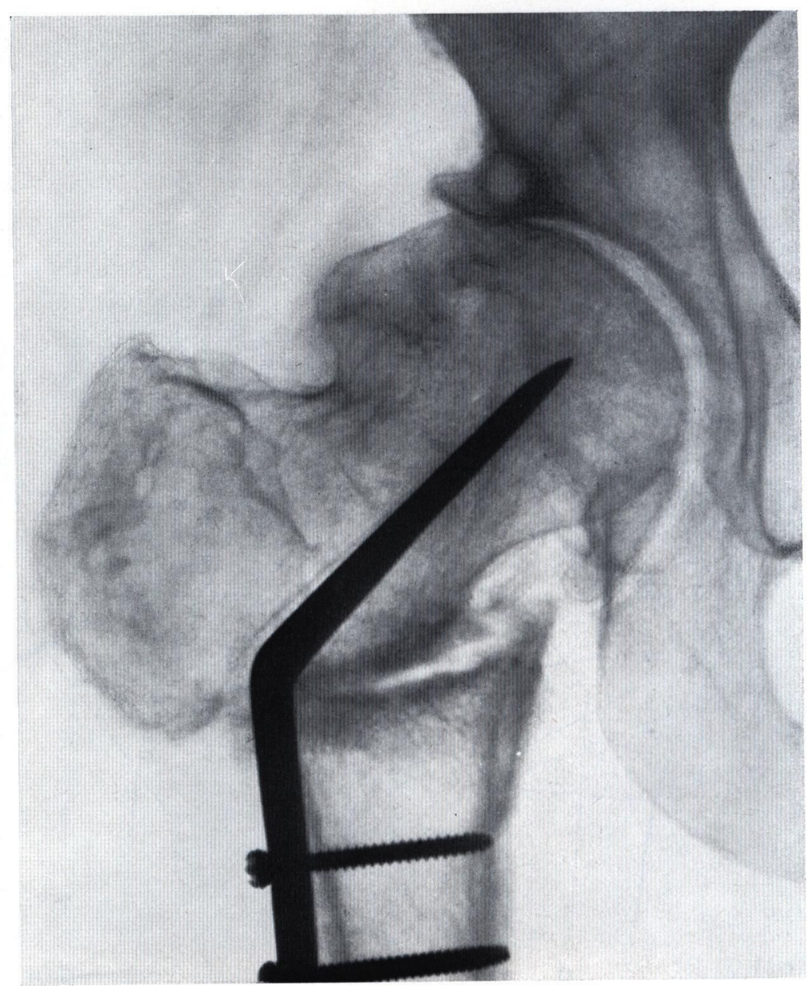
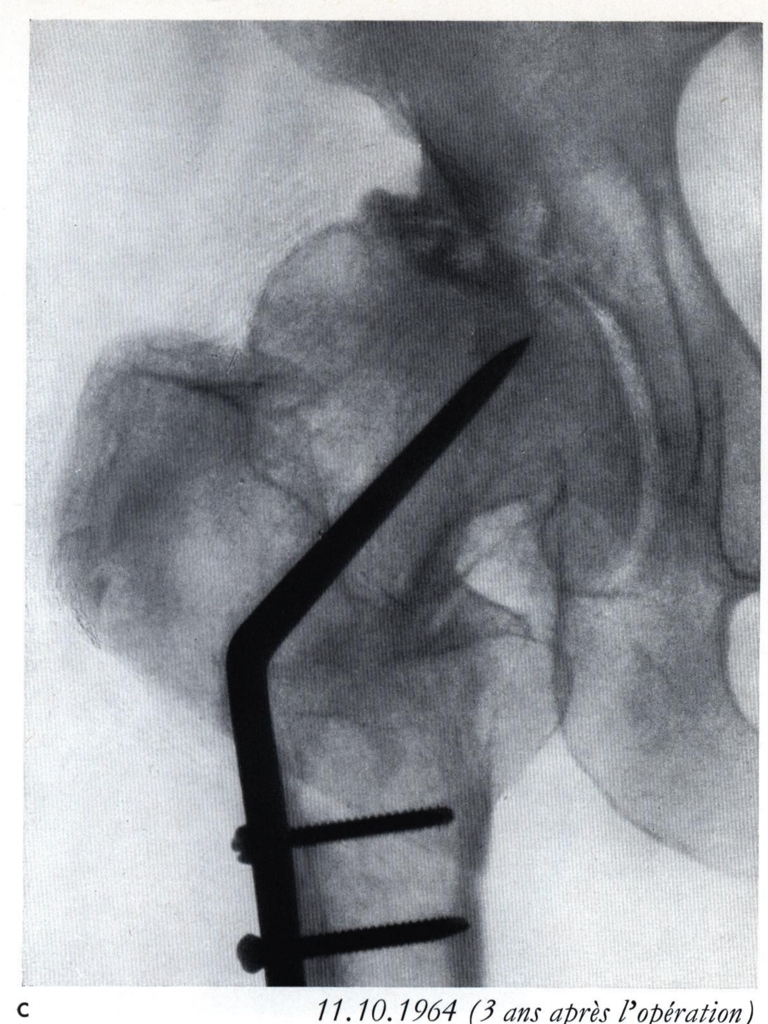
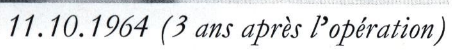

b 22.4.1964

Fig. 296a–d
R. D., ♀, née le 7.11.1904,
1. opération le 25.11.1963 (à l'âge de 59 ans et 1 mois)
2. opération le 9.2.1967 (à l'âge de 62 ans et 3 mois)

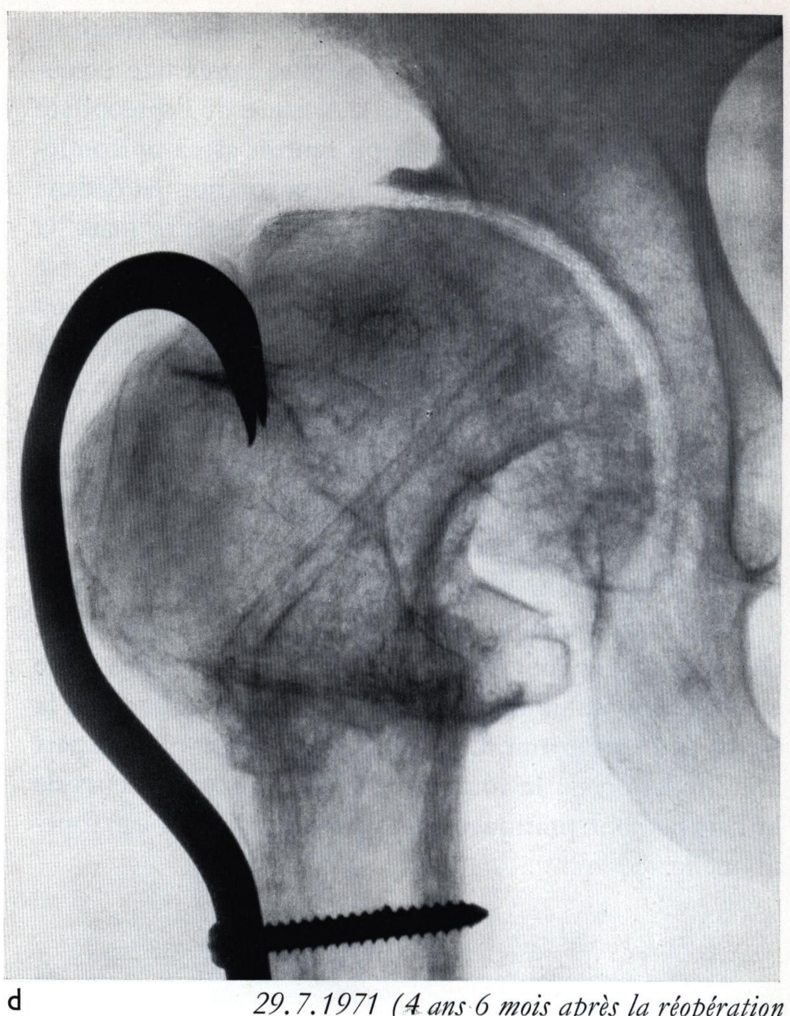
Le cas suivant est une subluxation de la tête fémorale avec sclérose osseuse et pincement de l'interligne au bord du cotyle (fig. 296a). La première opération, une ostéotomie de translation selon *McMurray* — mais sans appui du bassin sur la diaphyse fémorale — (fig. 296b) devait entraîner un échec. Elle ne pouvait que réduire partiellement la force de compression, comme l'opération de *Voss*, en détendant les adducteurs et le psoas. L'incongruence des surfaces articulaires persistait ainsi que, par conséquent, la pression articulaire beaucoup trop élevée. L'aggravation des altérations arthrosiques le confirme (disparition de l'interligne au bord du cotyle et kystes dans le toit de celui-ci) (fig. 296c).

La réopération, une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) qui était déjà indiquée au début, entraîna ici aussi une régénération complète de l'articulation (fig. 296d). La patiente, de 100 kg, fut réopérée par mon élève *Jansseune* à Anvers. Elle ne souffre plus. L'articulation est mobile, à part une limitation de la rotation. Elle est fonctionnelle.





c *11.10.1964 (3 ans après l'opération)*



d *29.7.1971 (4 ans 6 mois après la réopération par le docteur Jansseune, Anvers)*

Les radiographies 297a–c illustrent les modifications arthrosiques très prononcées survenues après une ostéotomie varisante d'adduction (PI). A cause de l'ostéophyte en goutte, la tête fémorale n'a pu rentrer assez profondément dans le cotyle. C'est pourquoi sa rotation en dedans n'a pas augmenté la surface portante articulaire mais l'a plutôt diminuée (fig. 297b, d et e).

Un an et demi après l'intervention, les altérations arthrosiques se sont aggravées au bord du cotyle dans la région où la pression est concentrée (fig. 297c). Bien que la hanche ait été ménagée longtemps, la coxarthrose a continué à évoluer (fig. 297g). A 47 ans, à cause de douleurs de plus en plus insupportables, la patiente fut réopérée par mon élève *Endler* à Vienne, qui réalisa une ostéotomie valgisante d'abduction (PII) (fig. 297f). La réduction considérable de la pression articulaire ainsi obtenue entraîna, déjà après $1^1/_2$ an, une régénération de l'articulation visible sur la radiographie fig. 297h. L'interligne a maintenant la même largeur partout. La patiente ne se plaint plus. A part une limitation de la rotation interne, les mouvements de la hanche sont pratiquement complets. Celle-ci est fonctionnelle.

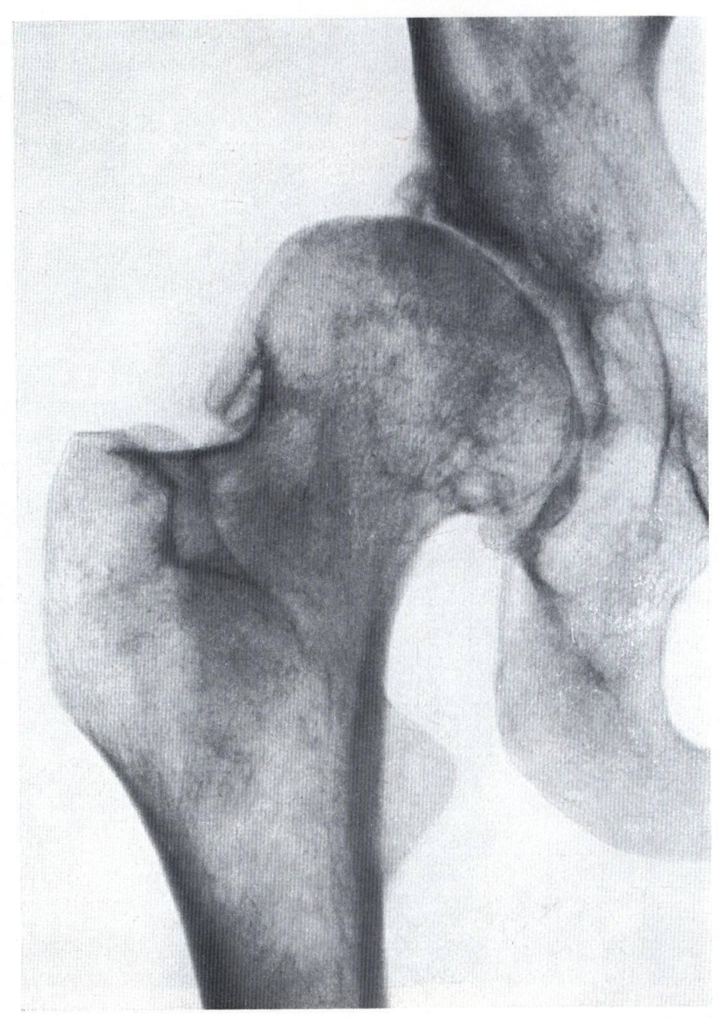
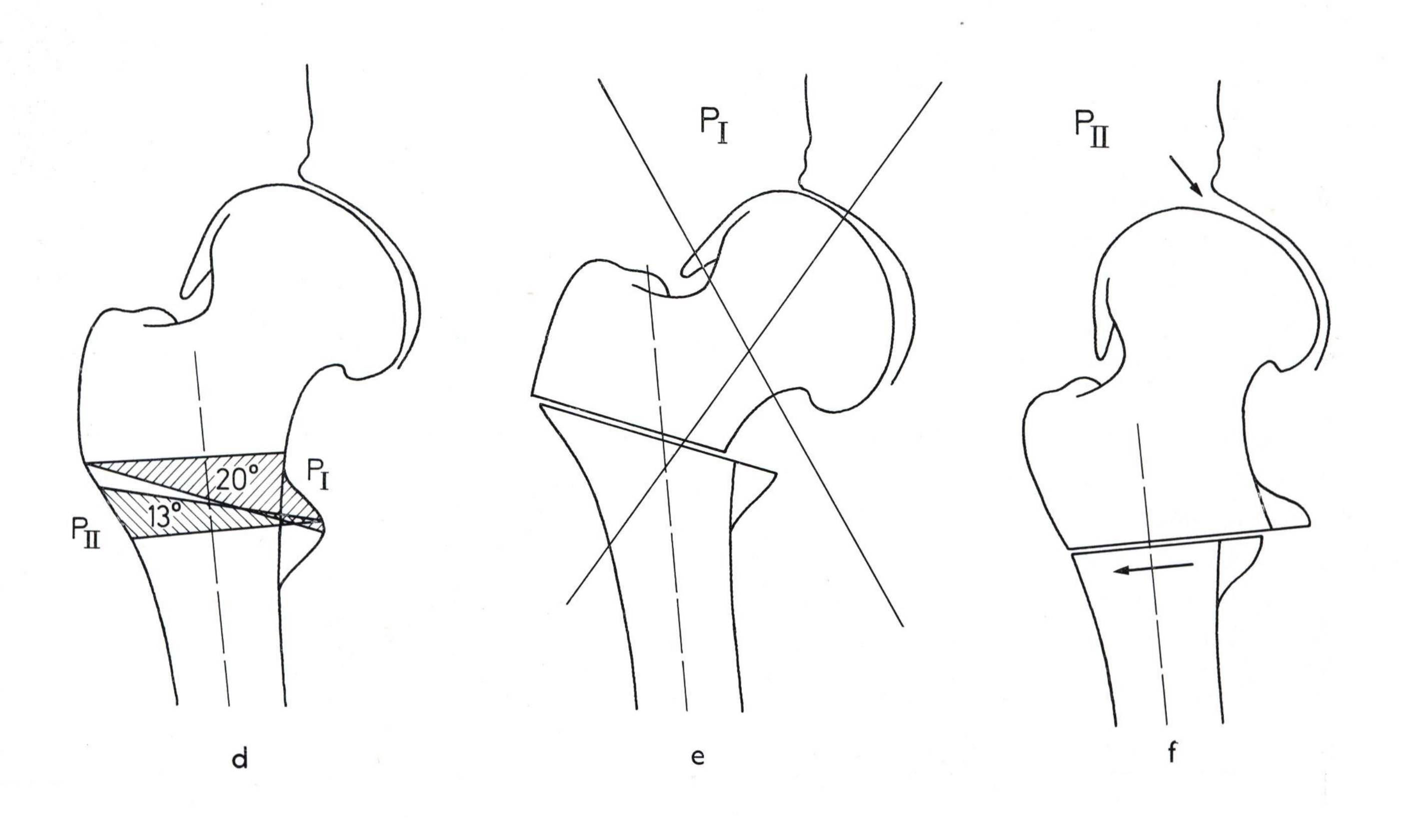
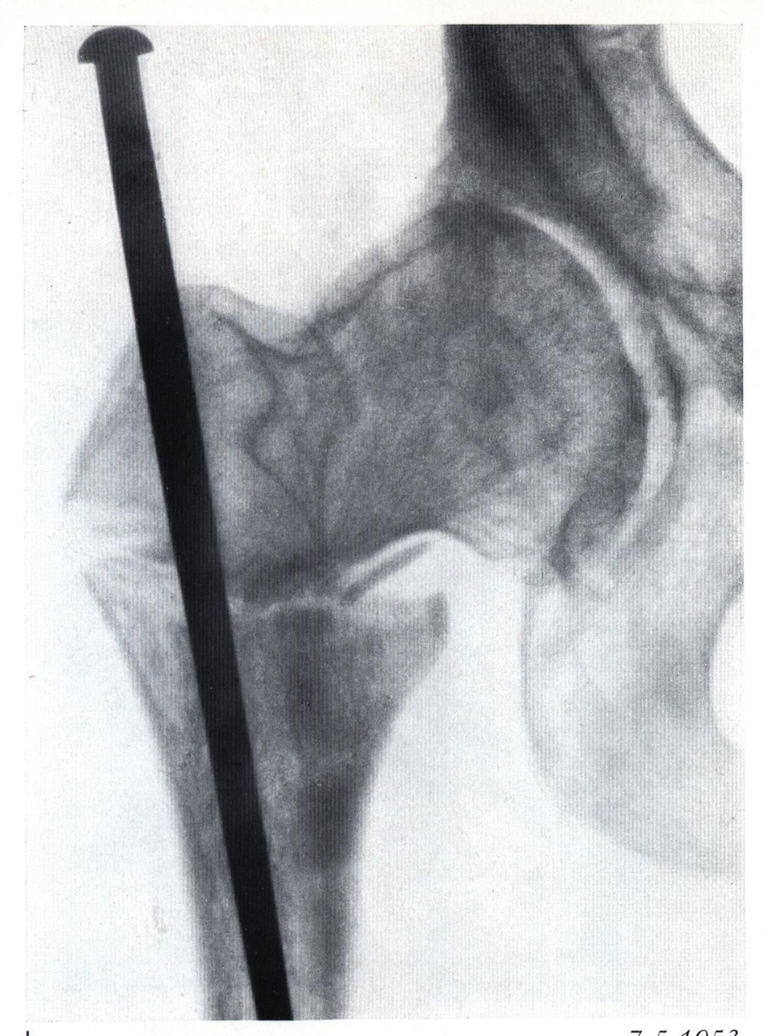
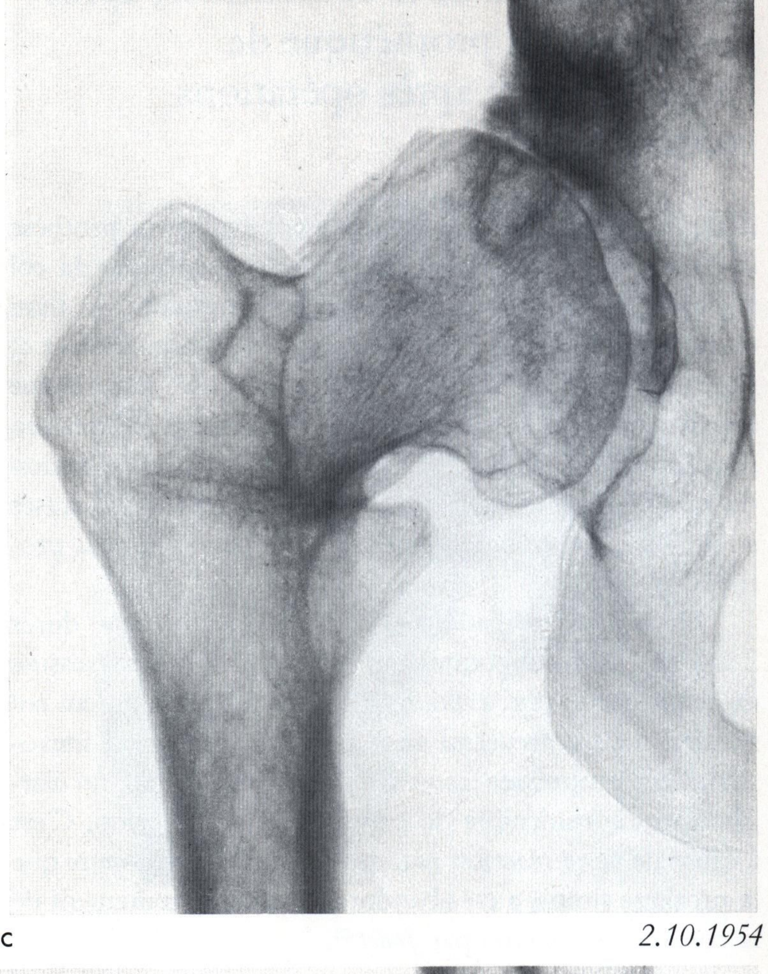


Fig. 297a–h
H.B., ♀, née le 1.10.1921,
1. opération le 7.5.1953 (à l'âge de 31 ans et 7 mois)
2. opération le 25.9.1968 (à l'âge de 47 ans)

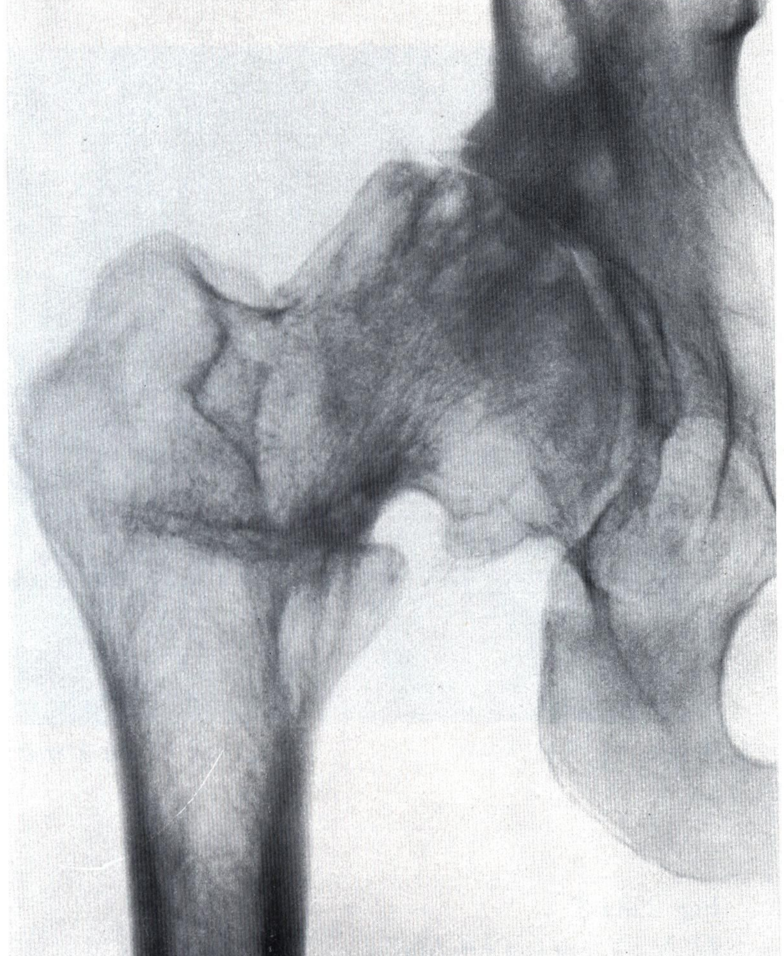


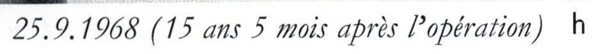


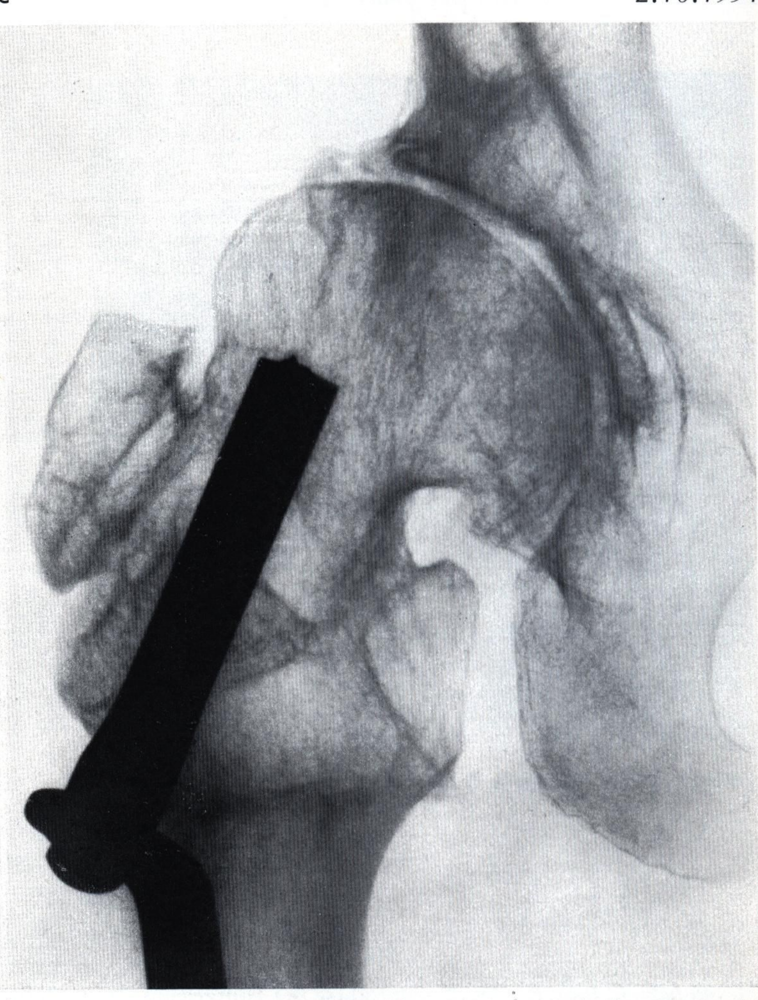
b *7.5.1953*



c *2.10.1954*



g

25.9.1968 (15 ans 5 mois après l'opération)

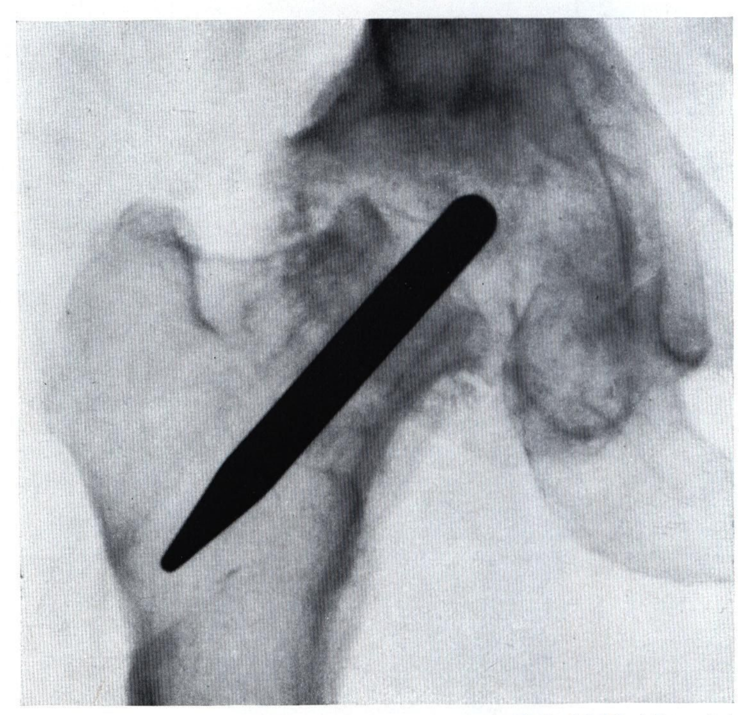


h *19.1.1970 (1 an 4 mois après la réopération par le docteur F. Endler, Vienne)*

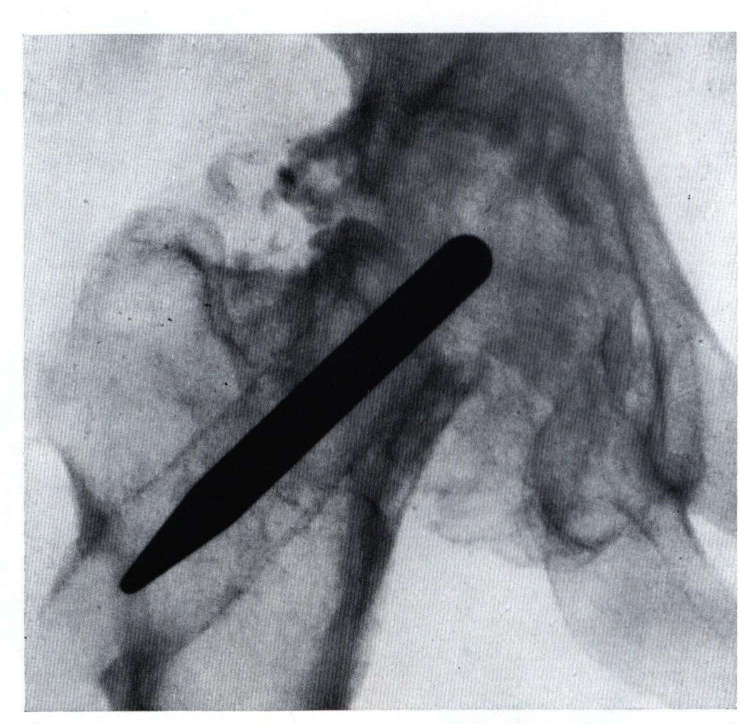
7. Comparaison entre la réaction du tissu osseux de la coxarthrose, après remplacement prothétique de l'articulation et après opérations conservatrices

Après le remplacement de la tête fémorale par une prothèse de *Judet*, pour coxarthrose, la corticale atrophique du col fémoral (fig. 298a) réagit d'abord en produisant du tissu osseux, ce qui se traduit radiologiquement (fig. 298b et c) par sa condensation de plus en plus marquée, jusqu'à une apparence de sclérose. Cette réaction traduit l'adaptation fonctionnelle à l'augmentation de la sollicitation en flexion du moignon de col fémoral, provenant des dégâts causés à l'architecture spongieuse par la partie cervicale de la prothèse.

Cette période d'adaptation fonctionnelle peut durer 2 à 3 ans. Ensuite commence une résorption progressive du tissu osseux (fig. 298d, e, f) qui ne se limite pas au col fémoral mais entreprend aussi le cotyle. Elle peut inexorablement progresser jusqu'à la disparition du col, un élargissement considérable du cotyle et une protrusion. C'est à cause de cette réaction pathologique du tissu osseux que la prothèse simple a été abandonnée pour le traitement de la coxarthrose, même par *Judet*[45].



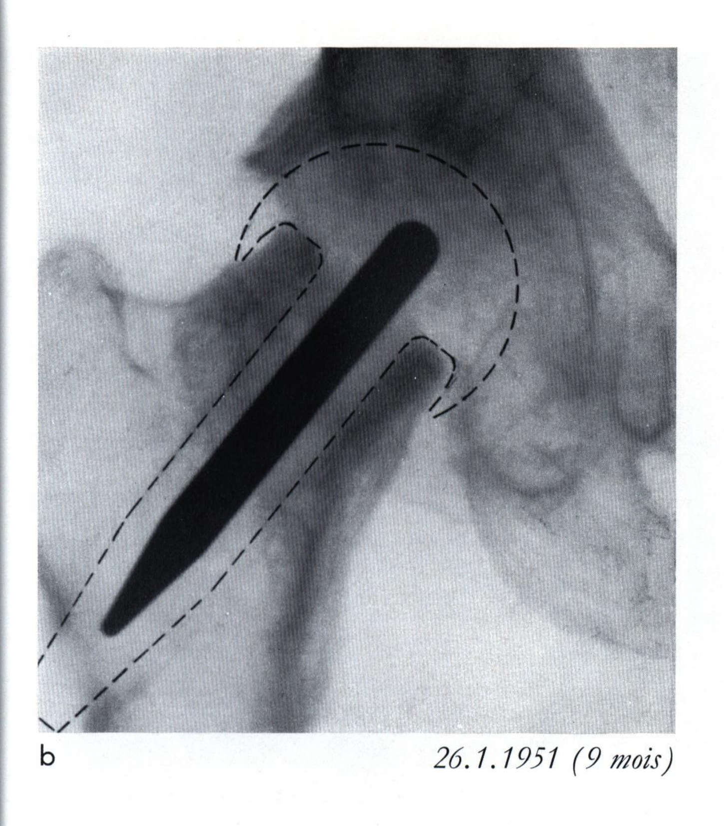
a *7.7.1950 (2 mois)*



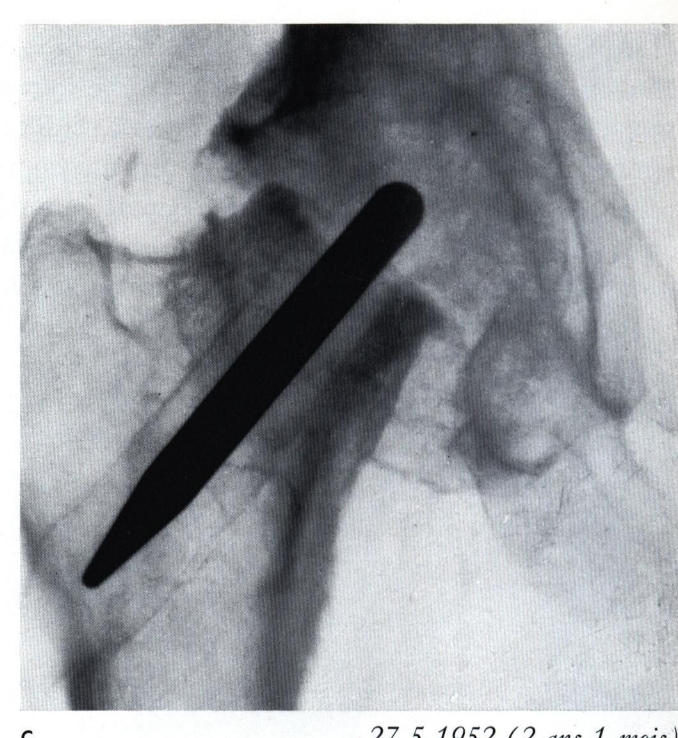
d *5.6.1953 (3 ans 1 mois)*

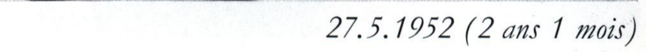
Fig. 298a–f
H.N., ♀, *née le 19.4.1897,*
Opération le 4.5.1950 (à l'âge de 53 ans)

45 *Judet, J., Judet, R.:* Die Endoprothese des Hüftgelenks. Dans: *Rütt, A.,* Die Therapie der Koxarthrose, p. 226. Stuttgart: Thieme 1969.

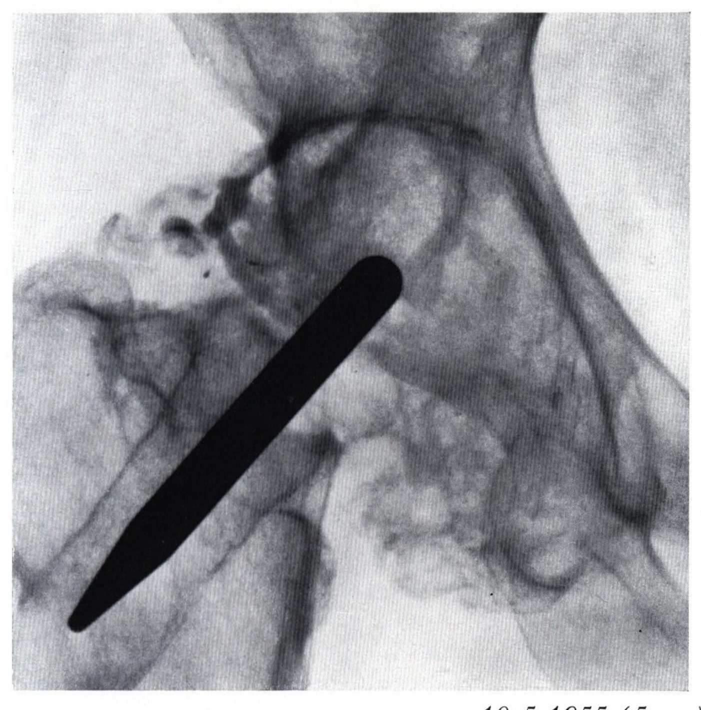


b *26.1.1951 (9 mois)*

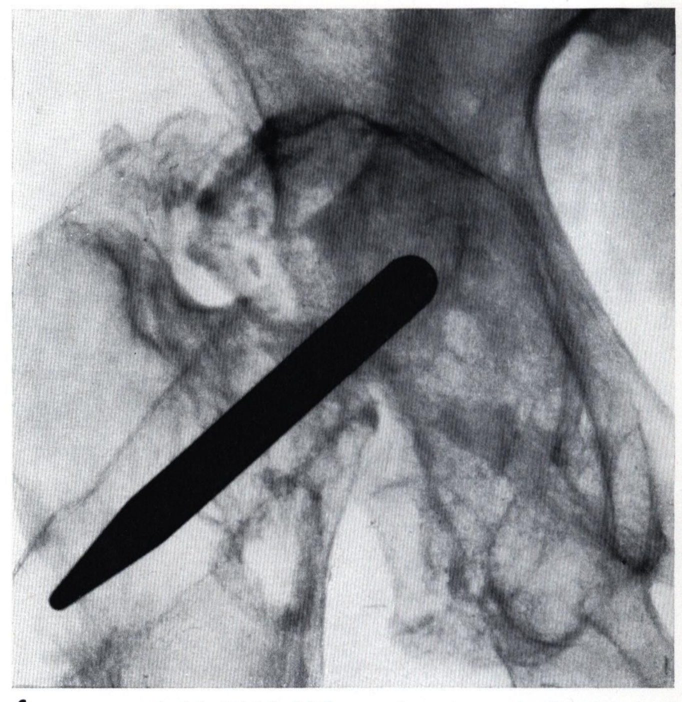




c *27.5.1952 (2 ans 1 mois)*

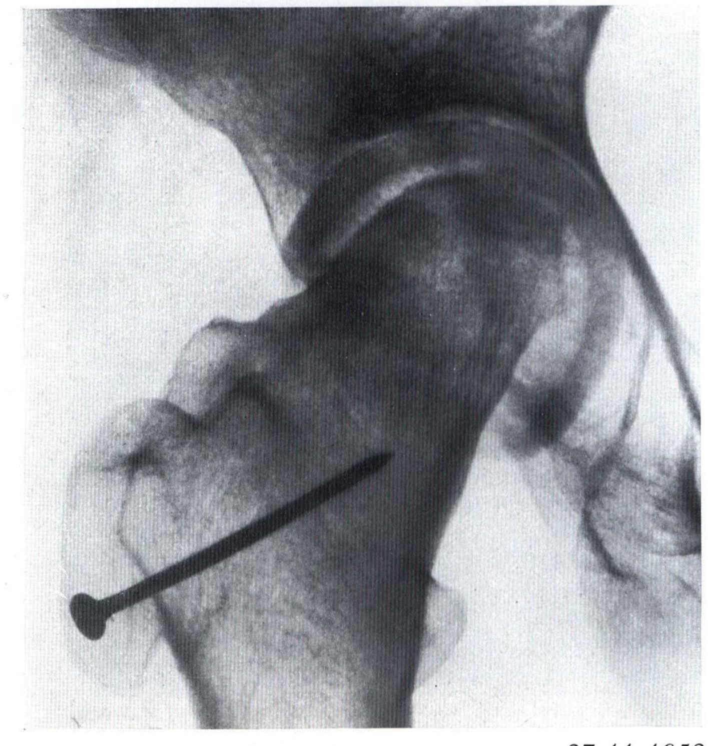


e *10.5.1955 (5 ans)*



f *4.11.1963 (13 ans 6 mois après l'opération)*

Après arthroplastie par interposition d'une cupule (fig. 299a–c), le moignon du col fémoral se résorbe souvent de façon plus ou moins étendue. L'évolution de cette résorption peut s'observer distinctement à travers une cupule en matière plastique (*Lange*). Lorsqu'une cupule en vitallium a été utilisée, les dégâts ne se constatent qu'après enlèvement de la cup, causé par la douleur de plus en plus intense.



a *27.11.1952*

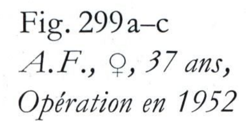
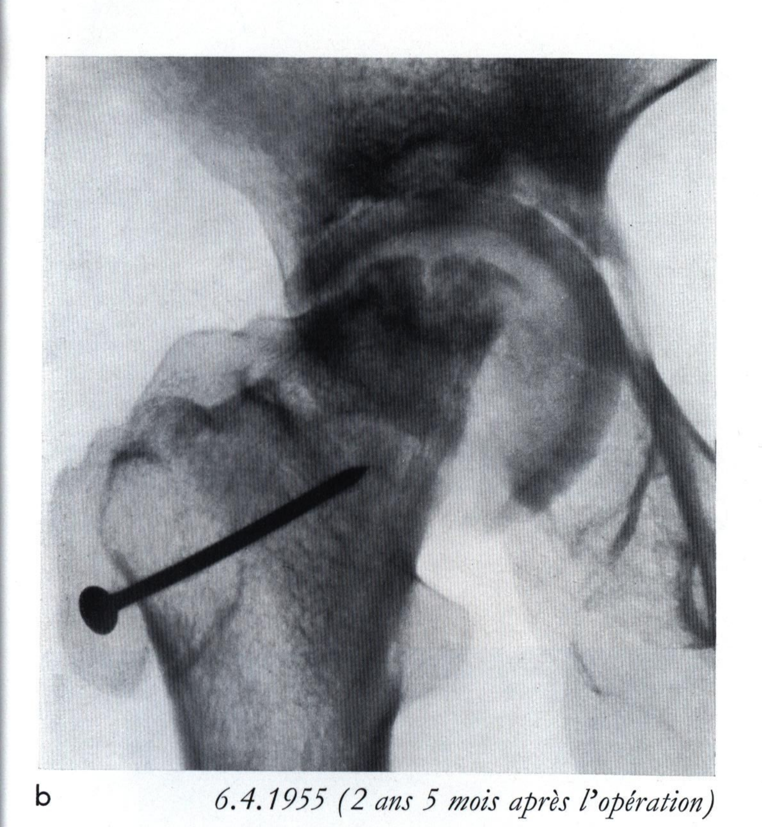
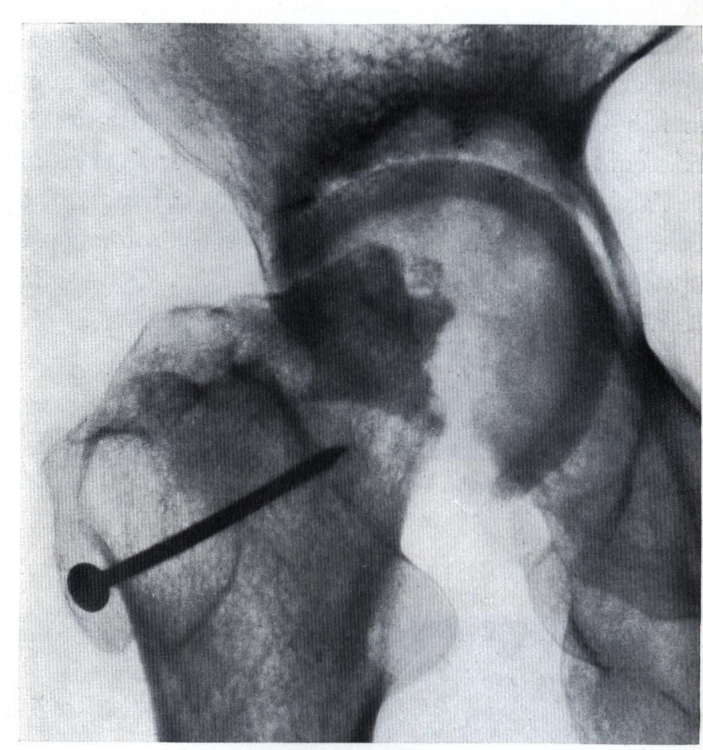


Fig. 299a–c
A.F., ♀, 37 ans,
Opération en 1952



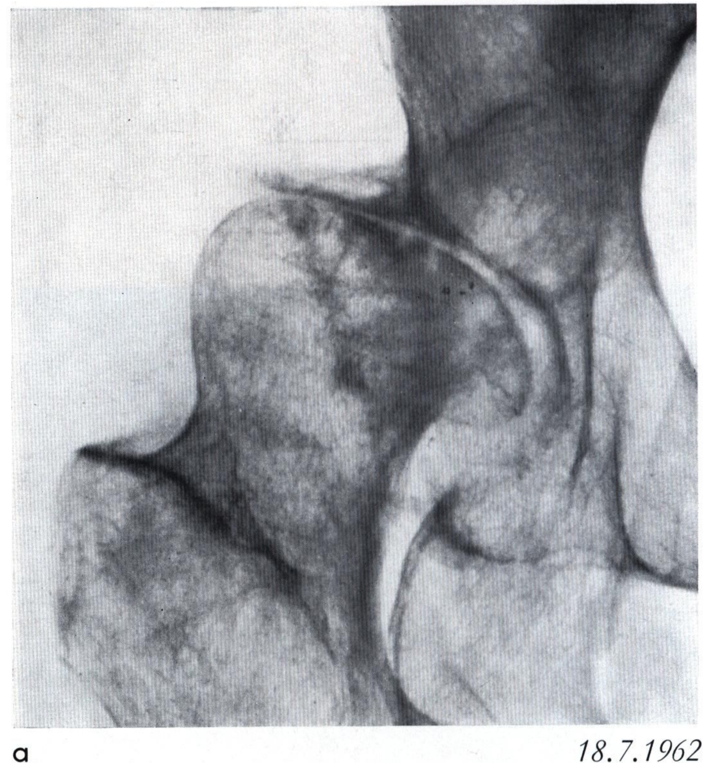
b *6.4.1955 (2 ans 5 mois après l'opération)*



c *7.12.1955 (3 ans après l'opération)*

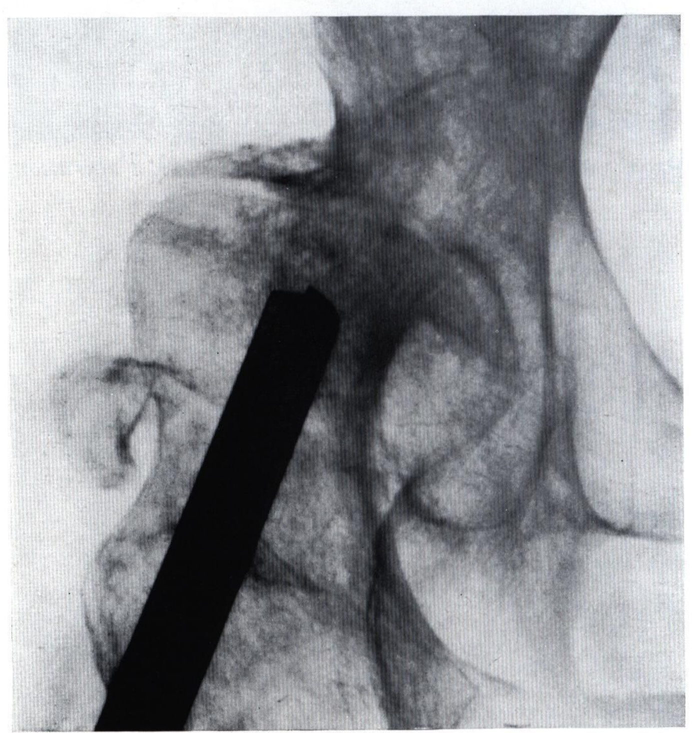
Une évolution diamétralement opposée s'observe après les deux opérations conservatrices, l'ostéotomie varisante d'adduction (PI) et l'ostéotomie valgisante d'abduction (PII).

Dans le décours postopératoire, des signes de résorption apparaissent d'abord dans la région polaire supérieure de la tête (fig. 300b–c). Ils atteignent le plus souvent leur maximum après 4 mois. Ensuite commence la régénération articulaire (fig. 300d–f), d'abord relativement rapide mais qui peut continuer lentement durant plusieurs années. En règle générale, elle conduit à une réparation étonnante de l'articulation et au rétablissement de sa fonction, même dans des coxarthroses très sévères avec volumineux pseudokystes et chez des patients âgés (voir fig. 220a–g, 251a–f, 238a–f).

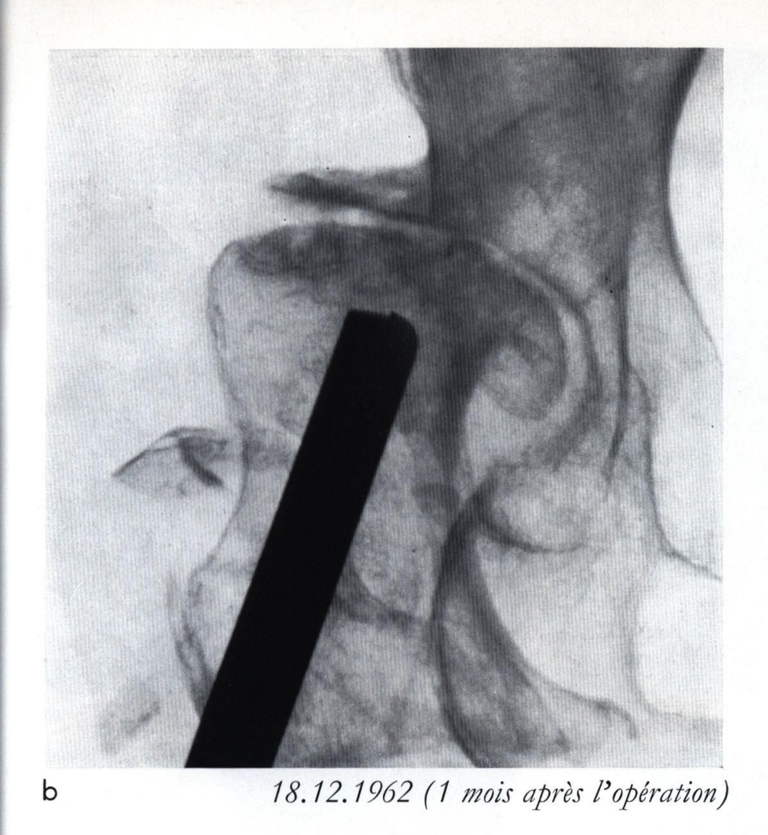


a *18.7.1962*

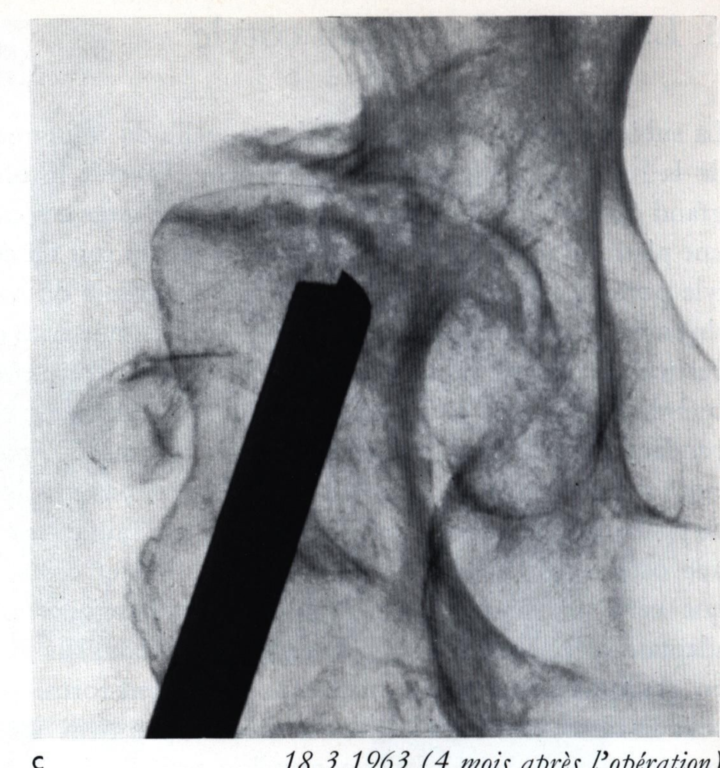
Fig. 300a–f
J.J., ♀, née le 26.5.1908,
Opération le 21.11.1962 (à l'âge de 54 ans et 6 mois)

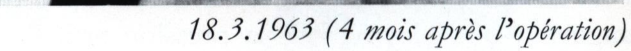


d *19.6.1963 (7 mois après l'opération)*

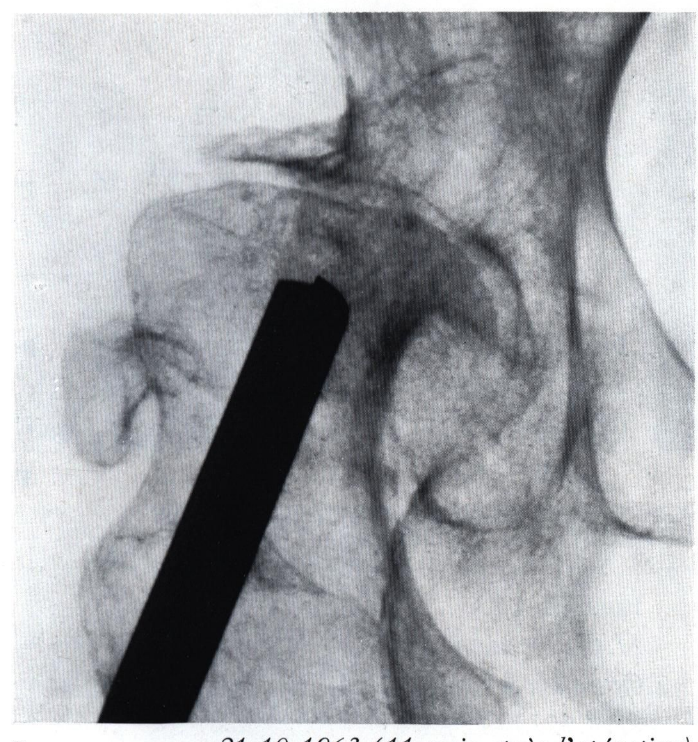


b *18.12.1962 (1 mois après l'opération)*

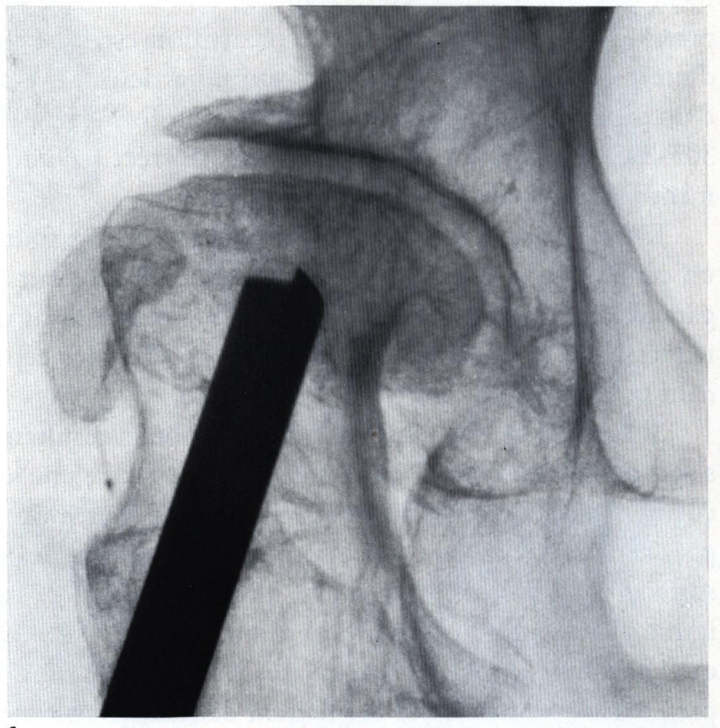




c *18.3.1963 (4 mois après l'opération)*



e *21.10.1963 (11 mois après l'opération)*



f *5.4.1971 (8 ans 4 mois après l'opération)*

8. La plastie du toit du cotyle

La subluxation de la tête fémorale, séquelle du traitement de la luxation congénitale de la hanche, fournit le plus grand nombre de préarthroses. *Théoriquement* dans ces cas, une plastie du toit du cotyle (élargissement du toit du cotyle par une greffe osseuse ou par une ostéotomie du bassin) offre la possibilité d'augmenter la surface portante de l'articulation et de réduire ainsi la pression articulaire concentrée au bord de l'acetabulum. La condition en est cependant que l'élargissement du toit crée une surface portante congruente. Or, techniquement, il n'est pas possible de restaurer *directement* la congruence par une butée ou par une ostéotomie du bassin. Aussi espère-t-on et croit-on que cette congruence sera réalisée secondairement par adaptation fonctionnelle. Ceci est bien douteux. En effet, un greffon inséré un peu trop haut ne se transforme pas mais se résorbe (fig. 301). S'il est situé un peu trop bas et augmente ainsi localement la pression articulaire, il entraîne l'arthrose (fig. 302).

La seule butée qui, grâce à un élargissement absolument congruent du cotyle, garantisse une réduction de la pression articulaire et son égale répartition est celle produite par une ossification de la capsule articulaire, c-à-d. d'un canevas déjà congruent avant sa transformation (fig. 303–305). Mais un tel canevas ne peut se créer techniquement par aucun type d'arthroplastie du toit.

L'arthroplastie du toit du cotyle peut au mieux fournir un certain appui à la tête fémorale. Mais elle ne peut pas garantir un agrandissement de la surface portante ni une réduction de la pression articulaire, indispensables cependant pour éviter la coxarthrose ultérieure.

Si cependant l'on observe parfois de bons résultats, il s'agit de cas où, même sans arthroplastie du toit, une articulation normale se serait développée, ou de rares cas où par chance la plastie du toit a entraîné une congruence des surfaces articulaires. Mais on ne peut préjuger de l'évolution ultérieure d'une plastie du toit du cotyle. C'est pourquoi personnellement je n'en ai jamais réalisé. J'ai toujours préféré les opérations qui permettent de réduire avec certitude la pression articulaire, comme les deux ostéotomies PI et PII.

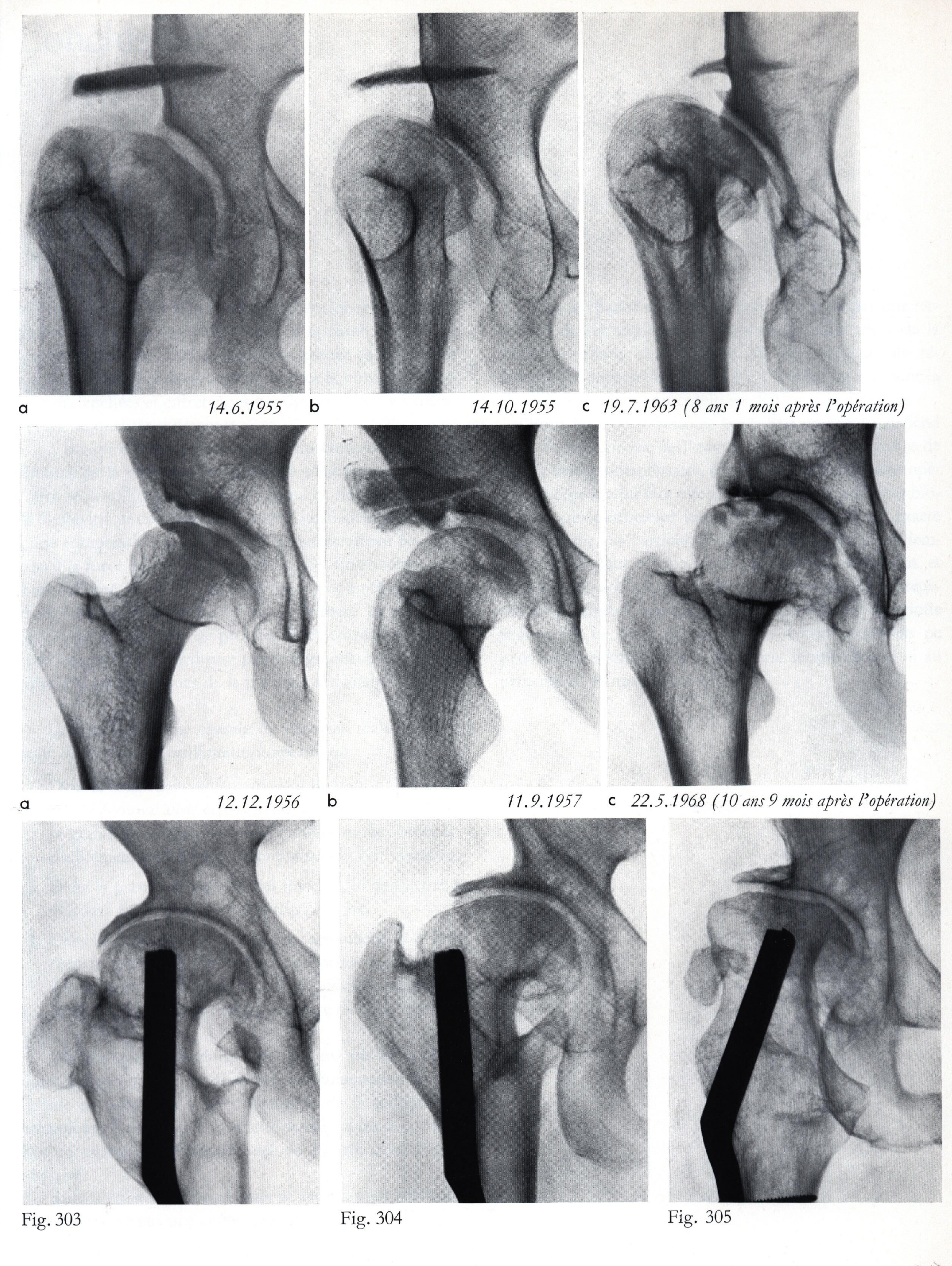
Fig. 301 a–c ▶
R.St., ♀, née le 9.11.1942,
Opération le 5.6.1955 (à l'âge de 12 ans et 7 mois)

Fig. 302 a–c ▶
Y.M. ♀, née le 1.2.1942,
Opération le 5.9.1957 (à l'âge de 15 ans et 7 mois)

Fig. 303
H.G., ♀, née le 7.1.1896,
Opération le 19.8.1958 (à l'âge de 62 ans et 7 mois)
22.8.1970 (12 ans après l'opération)

Fig. 304
M.Ch., ♀, née le 14.2.1904,
Opération le 7.1.1960 (à l'âge de 55 ans et 11 mois)
18.9.1970 (10 ans 8 mois après l'opération)

Fig. 305
J.J., ♀, née le 26.5.1908,
Opération le 21.11.1962 (à l'âge de 54 ans et 6 mois)
21.12.1967 (5 ans 1 mois après l'opération)



a *14.6.1955* b *14.10.1955* c *19.7.1963 (8 ans 1 mois après l'opération)*

a *12.12.1956* b *11.9.1957* c *22.5.1968 (10 ans 9 mois après l'opération)*

Fig. 303 Fig. 304 Fig. 305

Conclusion

Si l'on considère les raisonnements théoriques et l'analyse biomécanique des cas particuliers, il apparaît clairement que les trois affections de la hanche — la coxa vara congénitale, la pseudarthrose du col fémoral et la coxarthrose — sont déclenchées et entretenues par des sollicitations mécaniques de qualités différentes.

A la suite d'une insuffisance statique congénitale, le col fémoral de la coxa vara congénitale s'infléchit déjà sous l'effet de la sollicitation physiologique en flexion. A cause de l'inflexion, le cartilage épiphysaire, normalement soumis à une compression pure, s'incline progressivment par rapport à la force de compression résultante. En conséquence, il est sollicité de plus en plus en flexion et en cisaillement et sa croissance en longueur est perturbée. La pseudarthrose du col fémoral est provoquée et entretenue par le cisaillement et la coxarthrose par une grandeur et une distribution pathologiques de la pression articulaire.

Une thérapeutique causale de ces trois maladies doit donc s'attaquer à la sollicitation mécanique.

1. Dans la coxa vara congénitale, la sollicitation en flexion du col fémoral doit être réduite largement en deçà de sa grandeur normale et la sollicitation en flexion et en cisaillement du cartilage épiphysaire doit être éliminée.
2. Dans la pseudarthrose du col fémoral, le cisaillement doit être transformé en compression pure.
3. Dans la coxarthrose, la pression articulaire doit être réduite. Lorsqu'il y a incongruence des contours de l'articulation, cette réduction n'est possible que par un agrandissement de la surface portante de l'articulation.

Une thérapeutique causale de chacune des trois affections exige donc une modification fondamentalement différente de la qualité et de la grandeur de la sollicitation mécanique. Il est étonnant qu'elle se réalise pour les trois par un changement intentionnel de l'angle cervico-diaphysaire:

dans la coxa vara congénitale et dans la pseudarthrose du col fémoral par une ouverture adéquate,

dans la coxarthrose par une ouverture ou par une fermeture de cet angle, suivant que l'agrandissement de la surface portante de l'articulation, nécessaire à une réduction de la pression articulaire, s'obtient en tournant la tête fémorale dans son cotyle en dedans ou en dehors.

Pour les trois affections, le résultat opératoire dépend d'un dosage correct de l'ouverture ou de la fermeture de l'angle cervico-diaphysaire. C'est pourquoi un schéma opératoire type n'a pu être offert ici. Ce sont les principes biomécaniques permettant une préparation graphique exacte pour chaque cas particulier qui ont été exposés. Evidemment il ne faut s'attendre à un résultat satisfaisant et durable que si l'indication est correcte, l'opération préparée sur dessins et exécutée avec une technique chirurgicale précise. Si ce n'est pas le cas, les échecs éventuels ne peuvent être imputés ni à la théorie biomécanique ni au principe de la méthode.

Index alphabétique des matières

Paul G. J. Maquet

Biomécanique du Genou

Application à la pathogénie et au traitement chirurgical de la gonarthrose

184 illustrations. Environ 245 pages. 1977
Relié DM 168,—; US $77.30
ISBN 3-540-08329-4

Sous réserve des changements des prix

Table de matières : Buts et limites du travail. – Critique des travaux consacrés à la biomécanique du genou. – Techniques utilisées. – Mécanique du genou. – Pathogénie de la gonarthrose d'origine mécanique. – Artifices instinctifs utilisés pour diminuer la sollicitation mécanique du genou. – Traitement biomécanique de la gonarthrose. – Conclusions. – Annexe. Considérations sur la précision obtenue dans le calcul des forces et des contraintes s'exerçant sur le genou.

Les forces exercées sur le genou normal en position debout et durant la marche sont analysées et les surfaces portantes de l'articulation fémoro-tibiale mesurées experimentalement. De cette analyse sont déduits les facteurs mécaniques qui peuvent augmenter et concentrer les contraintes de compression articulaires. On démontre comment les images radiographiques correspondent aux diagrammes des contraintes et confirment la théorie.

Augmentation et concentration des contraintes articulaires provoquent l'apparition et l'évolution de l'arthrose. Le traitement consiste à réduire les contraintes en diminuant les forces supportées par l'articulation et en agrandissant les surfaces portantes. Différentes techniques opératoires réalisant ces principes sont décrites: capsulotomie postérieure, avancement de la tubérosité tibiale antérieure, ostéotomie courbe de l'extrémité supérieure du tibia, ostéotomie distale du fémur, correction de déformations eloignées du genou atteint. Les modifications radiologiques post-opératoires illustrent le résultat de cette chirurgie destinée à modifier les contraintes mécaniques.



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York